

الفرن العالي



الاساس التكنولوجية

0157227



مكتبة الإسكندرية

Bibliotheca Alexandrina

الأسس التكنولوجية
يشرف عليها
دكتور مهندس أنور محمود عبد الواحد

الفرن العالي

دكتور مهندس عبدالرؤف رضوان

مقدمة

تزخر المكتبات بالعديد من الكتب التي تتعرض لموضوع تخصصي واحد، ولكن من مجموعة زوايا مختلف وهدف المؤلف. ورغم النهضة التي نلمسها على المستوى العالمي في التأليف والترجمة، إلا أن عدد الكتب والمراجع التي تتناول دقائق القرن العالي، لا تزال تُعَدُّ على الأصابع، وخاصة تلك التي تربط بين الجوانب النظرية، والجوانب العملية والتطبيقية لهذا الموضوع، وهذه الأخيرة تتطلب خبرة طويلة، وممارسة فعلية، في تشغيل الفرن العالي.

ومع تقدم وتطور الصناعة في الوطن العربي، أصبحت الحاجة ماسة إلى تزويد المكتبة العربية بالكتب المتخصصة، ومن هنا اتجه التفكير إلى تصنيف هذا الكتاب، وقد روعيت في كتابته وتصنيفه سهولة اللفظ، وبساطة السرد، والبعد عن التعقيد، حتى يتيسر الإلمام بما ورد به من معلومات، تُمكن المهندسين، والفنيين العاملين بالأفران العالية، من الإحاطة بتكنولوجيا الأفران العالية، وفي الوقت نفسه، تتيح للمهندسين، والفنيين بصفة عامة، الإطلاع على تفاصيل هذا الموضوع الهام، بوصفه المرحلة الأولى من مراحل صناعة الحديد والصلب، وهي الصناعة الثقيلة التي تمثل القاعدة الأساسية المكنية لتصنيع الوطن العربي.

ونرجو أن نكون قد وفقنا فيما هدفنا إليه، والله ولي التوفيق.

عبد الرؤوف رضوان

الباب الأول

الخامات المستخدمة بالفرن العالى

ينتج الفرن العالى ، الحديد الزهر الخام ، باستخدام العديد من الخامات والمواد الأولية . وهذه تكون فى مجموعها ما يسمى « بشحنة الفرن العالى » ، التى تحظى عالمياً باهتمام كبير عند تجهيزها أو إعدادها ، وتخضع لقواعد خاصة فى تحديد المواصفات الكيميائية والفيزيائية الخاصة بكل مكون من مكوناتها ، لما لذلك من أثر فعال على تكلفة الإنتاج .

وتتكون شحنة الفرن من خامات الحديد ، وبعض الإضافات من مخلفات المصانع التى نحوى المعدن ، والمصهرات ، والكوك .

وفى هذا الباب ، نتعرض بصورة سريعة لمصادر ، وخواص ، وطرق تجهيز مكونات الشحنة هذه ، بهدف التوضيح المبسط ، دون الدخول فى التفاصيل الدقيقة .

خام الحديد بالعالم :

بدأ العالم فى استغلال خام الحديد منذ أمد بعيد ، ونظراً للبداية التى كان يعالج بها الخام للحصول على المعدن منه ، فإن الخامات التى استغلت ، شكلت غالبية الخامات الجيدة بالعالم ، ومع تناقص النوع الجيد من الخام ، اضطر المشتغلون بتلك الصناعة ، إلى البحث لإيجاد الوسائل والطرق التى يمكن بها معالجة الخامات الأقل جودة ، مما كان له الأثر الفعال فى التقدم التكنولوجى لعمليات تجهيز الخامات ، وتحسين أداء المعدات التى تستخدم فى هذا المجال . كما اضطر البيولوجيون ورجال التعدين ، للعمل دون توان ، لتعويض التناقص المطرد للخامات ، فاستخدمت أحدث الوسائل للكشف والاستغلال . وقد نجم عن ذلك اكتشاف مناطق شاسعة من الخامات الفقيرة التى لم تستغل حتى الآن ، وإن كانت تشكل أهمية كبرى كرسيد للخام فى الأجيال القادمة ، حين ينضب معين المصادر الحالية .

وتهدف الأبحاث الحالية التى تجرى على مستوى عالمى ، إلى إيجاد أحسن الطرق وأكثرها ملاءمة لمعالجة هذه الخامات . وهذا يمثل فى الواقع الأسلوب المنطقى الذى يجب أن يسير عليه العالم ، إذا استمر التوسع المطرد فى الصناعات الحديدية ، وإذا لم تكتشف مواد أخرى لتحل محل الصلب فى بعض استخداماته .

وقد استنفد العالم منذ عام ١٨٠٠ وحتى الآن ، ما يقرب من ١١ بليون طن من خام الحديد ، لإنتاج كميات الحديد التي أنتجها خلال هذه الفترة . وإذا كانت كميات الخام الحقيقية بالعالم غير معروفة بالضبط حتى الآن ، فليس مرجع ذلك إلى أن الأعمال الجيولوجية لم تستكمل على النطاق العالمى كله ، بقدر ما يرجع إلى أن معايير القياس تختلف من بلد لآخر ، حتى إنه أصبح من الصعب الآن ، تحديد نسبة الحديد فى الخام التى تصلح أساساً للمقارنة عالمياً . وعلاوة على ذلك ، فلقد اختلفت الطرق فى تحديد الخام المؤكد والخام المحتمل ، وعليه أصبح من الممكن أن الخام الذى يعد « محتملاً » فى إحدى دول العالم ، قد يكون « مؤكداً » تبعاً للمقاييس المتبعة فى بلد آخر ، وهكذا .

مناطق وجود خام الحديد بالدول العربية

أثبتت أعمال المسح الجيولوجى ، أن ثلثى كمية الخام المعروف بالقارة الأفريقية ، توجد فى شمالها بمناطق ساحل البحر المتوسط ، وفى اتحاد جنوب أفريقيا . ومن أهم مصادر الخامات التى بدأ استغلالها ، تلك الموجودة فى موريتانيا ، حيث يوجد الخام الأولى فى شمالها ، ويبلغ الخام المؤكد بها حوالى ١٥٠ مليون طن ، ويستغل حالياً للتصدير .

أما فى الجزائر ، فيوجد الخام الهيماتى الذى تتنافس للحصول عليه دول أوروبا لاستخدامه فى صناعة صلب بسمر ، غير أن كمية الخام الباقية لا تجعل هذا المصدر أهم مصادر الخام بالقارة الأفريقية ، وتقدر كمية الخام المؤكد بالجزائر بحوالى ١٥٠ مليون طن . ويستغل جزء منه فى صناعة الحديد والصلب بالجزائر حالياً .

أما فى تونس ، فتوجد خامات السيدريت والماجنتيت ، ونحوى تقريباً ٥٤% من وزنها حديد ، بالإضافة إلى نسبة عالية من المنجنيز ، ويستخدم جزء من هذا الخام حالياً فى صناعة الحديد والصلب بتونس ، إلا أن معظم الكمية المستخرجة فى المناجم ، تصدر للدول الأوروبية ، وخاصة ألمانيا .

وفى ليبيا ، يوجد الهيماتيت الذى يحوى نسبة عالية من السيليكا . ويقدر الخام المؤكد بحوالى ٣٩٠ مليون طن ، ولم يبدأ استغلاله بعد .

وفى جمهورية مصر العربية ، يوجد خام الحديد الهيماتى الفوسفورى بأسوان ، والذى

تتراوح نسبة الحديد فيه ما بين ٤٢ و ٤٦٪، ويستخدم حالياً في صناعة صلب توماس . كما يوجد خام الحديد الليمونيت الهياتيتي بمنطقة الواحات البحرية ، ويحوى نسبة أعلى من الحديد ، من ٥٢ إلى ٥٥٪ ، وكذا نسباً أقل من السيليكا والفوسفور ، غير أنه يحوى كلوريد الصوديوم وأكسيد المنجنيز بنسبة عالية ، مما يستلزم معالجة الخام قبل استغلاله . أما المصدر الثالث في جمهورية مصر العربية ، فهو خام الماجنتيت الهياتيتي الموجود بوادى كريم غرب القصير ، وهو خام يحوى ٤٤٪ حديد ، غير أنه صلب للغاية ، وتحتاج عمليات استخراجة إلى معالجة خاصة ، بطبيعة تكوينه . فخام وادى كريم أقل الخسومات المصرية قابلية للاختزال . وتقدر كميات الخام المؤكد في جمهورية مصر العربية ، بحوالى ٢٨٠ مليون طن .

ويوجد في المغرب حجر الحديد الأحمر الذى يحوى ٥٠٪ من الحديد ، ويقدر الاحتياطي المؤكد بحوالى ٧٠ مليون طن ، ويستغل الخام حالياً للتصدير .

ولقد تم اكتشاف كميات من خام الحديد بكل من السودان ، والمملكة العربية السعودية ، وهى حالياً قيد التقييم .

الخواص الفيزيكية والكيميائية لخامات الحديد

نظراً لطبيعة عمليات الفرن العالى ، وللعديد من التغيرات والمؤثرات التى تتعرض لها المشحونات خلال هبوطها بالفرن ، فن اللازم أن تتوافر للخامات المكونة للشحنة عامة ، ولخامات الحديد خاصة ، خواص فيزيكية وكيميائية معينة ، تتلاءم مع متطلبات التشغيل ، وتقاس هذه الخواص عادة بمؤشرات نلخصها فيما يلى :

(١) الخواص الفيزيكية :

١ - الصلابة : يتضح أثر هذه الخاصية في مرحلق الاستخراج والصهر ، فالخامات الهشة الضعيفة ، وهى التى لا تحتاج عادة عند استخراجها بالمناجم إلى عمليات نصف مكثفة ، وتجمع مباشرة باستخدام الحفارات ، تكون نسبة الفاقد فيها ، خلال عمليات التنجيم ، أكبر بكثير عن الخامات الأكثر صلابة ، مما يرفع تكلفة إنتاج الوحدة منها . وبالإضافة إلى ذلك ، فإن هذه الخامات تفتت بسهولة عند شحنها بالفرن ، مخلفة كميات من الأحجام الصغيرة ،

تعرض مسار الغازات الصاعدة ، وتؤثر على سلامة التشغيل ، وينتج ذلك التفتت ، بسبب عدم قدرة هذه الخامات على تحمل الضغوط العالية ، الناجمة عن شحنات الخامات التي تعلوها .

أما الخامات الصلبة ، فتحتاج عادة إلى عمليات نسف بالمناجم ، ثم عمليات تكسير وطحن للحصول على الأحجام المناسبة للاستغلال ، مما يزيد من تكلفة إنتاجها وسعرها . هذا بالإضافة إلى تسببها في تفتت باقى مكونات شحنة الفرن ، والأقل منها صلابة ، خلال هبوط الشحنة بالفرن ، واحتكاك هذه المكونات ببعضها ببعض .

٢ - المسامية : وهى تحدد نسبة الفجوات أو الفراغات فى داخل وحدة الخام الحجمية . وتنقسم هذه الفراغات إلى نوعين ، المفتوحة منها ، والمصمتة . وتقاس المسامية بطرق مختلفة ، تحدد نسبة حجم النوع الأول منها فقط ، إلى حجم القطعة تحت الاختبار . والفراغات المفتوحة تمثل الطريق الفعلى الذى تسلكه الغازات المختزلة إلى ملامسة أسطح الخام ، وبدء التفاعل معه . أما الفجوات المصمتة ، والتى لا يمكن قياسها ، فتتفتح مع تقدم عملية الاختزال وفى أثنائها ، لتساعد فى إتمام المراحل النهائية لها .

وعليه ، تعتبر المسامية مؤشراً بالغ الأهمية فى تقييم الخامات ومقارنتها ببعضها مع بعض ، فكلما زادت نسبتها ، كلما ارتفعت قيمة الخام ومكانته ، ويعد ذلك سبباً من أسباب تفصيل خامات الهيماتيت والليمونيت على خامات المجنتيت .

والفراغات التى يحويها الخامات ، تتفاوت فى أحجامها من جزء من المليون إلى جزء من الملليمتر ، ولهذا فهى ضئيلة جداً . إلا أن خروج المواد المتطايرة الموجودة بالخامات ، نتيجة ارتفاع درجة حرارة الخامات عند مرورها بالمناطق العليا بالفرن ، يزيد من حجم هذه الفراغات ، ويولد مسارات تسمح بمرور الغازات بعدئذ وبسهولة .

٣ - تحمل الضغوط : تتعرض الخامات المشحونة بالفرن العالى - كما سبق الذكر - إلى العديد من التغيرات الكيميائية والفيزيائية خلال مراحل هبوطها . وحيث أن كل طبقة من الشحنات ، تحمل الطبقات التى تعلوها ، فمن المحتم أن تكون لهذه الخامات خاصية تحمل الضغوط عند درجات الحرارة العالية ، مع الحفاظ على شكلها الخارجى ، وخاصة خلال مراحل الاختزال الأولى . لذلك تعتبر هذه الخاصية هامة . وتختبر قدرة الخامات على تحمل

الضغوط . بتسخين قطعة من الخام لها شكل هندسى محدد ، ثم يقاس مدى تأثير أبعادها بضغط معين ، عند ارتفاع درجة حرارتها ، ويقارن الناتج الذى يتم الحصول عليه بنتائج نظية . ويبلغ ضغط الاختبار حوالى ٢ ضغط جوى ، وهو قيمة الضغط السائد تحت ظروف التشغيل بالفرن .

(ب) - الخواص الكيميائية :

يندر أن يوجد الخام فى الطبيعة بحالة نقية . بل يحوى عادة مكونات أخرى تسمى الشوائب ، وهى التى نحدد نوعية الخام . فيذكر أن الخام حامضى ، أو قاعدى ، حسب زيادة نسبة المكونات الحامضية أو القاعدية فيه ، ويقال إن الخام متعادل ، إذا تقاربت أو تساوت هذه المكونات .

وتوجد الشوائب فى صورة مركبات كيميائية ، مع مكونات مواد أخرى أهمها الأوكسجين والكربون ، ونسب أقل من الفوسفور والمنجنيز والكبريت ، ، بالإضافة إلى المواد الطينية ، والمكونات الأرضية ، مثل السيليكا والجير والألومينا وأكسيد المنجنيز . وقد تكون هذه الشوائب مرغوباً فيها أحياناً تحت ظروف معينة ، غير أنه عادة لا يستحب وجودها .

كذلك يوجد مع الخام ، بكميات أقل ، معادن الكروم ، والنيكل ، والفاناديوم ، والزنك والنحاس ، الخ . وتظهر أهمية الدور الذى تلعبه هذه المجموعة من المرافقات ، فى تأثيرها المباشر على جودة المنتج بعد عمليات الصهر ، وكذلك فى تحديدها لطريقة معالجة هذا المعدن فى مراحل تحويله إلى صلب .

وعموماً يمكن تقسيم هذه الشوائب إلى قسمين :

١ - شوائب يمكن التخلص منها بنسب عالية أو كلية ، وتدخل فى مكونات الخبث الذى يصاحب عملية الصهر الأولية ، مثل السيليكا ، وأكسيد المنجنيز ، والألومينا ، والجير ، الخ .

٢ - شوائب يكون التخلص منها نسبياً ، ولا يمكن اقتصادياً التخلص منها نهائياً ، وهى الشوائب القابلة للذوبان فى الحديد فى درجة حرارة إنتاجية ، مثل الكبريت ، والكربون ، والمنجنيز ، والفوسفور ، والكروم ، والفاناديوم ، والسيليكون الناتج عن اختزال جزء من السيليكا ، الخ .

ويعتبر الكبريت ونسبته بال خام ، من أهم مؤشرات تقييم الخامات وتحديد جودتها ، نظراً لتأثيره الضار على خواص الصلب الناتج ، حيث ينبجم عن وجوده أن يكون المعدن هشاً في درجات الحرارة العالية ، الأمر الذى يسبب حدوث تشققات بالمعدن عند طرقه ، أو عند معالجته حرارياً . ولهذا ، فن العسير استخدام الخامات التى تحوى أكثر من ٠,١ ٪ من الكبريت ، وهو الأمر الذى يسبب الابتعاد عن استغلال مناطق كبيرة من خام بيريت الحديد (ح ك ب) .

وهذا السبب نفسه ، يدفع جميع العاملين في صناعة الحديد والصلب ، إلى تحاشي استخدام الكوك العالى النسبة من الكبريت . ومن مسببات عدم الرغبة في الكبريت كذلك صعوبة التخلص منه ، وارتفاع النفقات اللازمة لذلك .

أما الفوسفور ، والذى يمكن التخلص منه ، فوجوده بالمعدن غير مرغوب فيه عادة ، لأنه يقلل تحمل المعدن للإجهادات أو للتحميل (الضغط) . لكن وجود الفوسفور بالمعدن محبب في عمليات السباكة ، لمساعدته على احتفاظ المعدن بدرجة عالية من السيولة والانسيابية . وتستخدم الخامات التى تحوى الفوسفور بنسبة تصل حتى ١,٥ ٪ ، في صناعة الصلب القاعدى أو صلب توماس .

من ذلك يتضح أن نسبة الفوسفور ، تحدد طريقة تنقية الحديد الخام الذى يحتويه . وعليه فالخامات التى تحوى نسباً أقل من اللازم لإنتاج صلب توماس ، وأعلى من المطلوب لإنتاج الصلب بالطريقة الحامضية ، تشكل في الواقع عبئاً على عمليات التنقية ، وبذلك تقلل من قيمة الخامات عند تقييمه .

أما العناصر الأخرى كالمنجنيز ، والكروم ، والفاناديوم ، والنيكل ، والكوبالت ، وغيرها ، فهى عناصر مرغوب فيها ، بشرط وجودها بنسب محددة ، ذلك لأنها تساعد على تحسين خواص المعدن ، وخاصة المنجنيز الذى يساعد على التخلص من الكبريت ، غير أن زيادتها عن النسب المحددة ، يشكل مصاعب في تشغيل خاماتها .

ويرجع الاهتمام بالشوائب الأخرى التى تصاحب الخامات ، وتكون في إجمالها الخبث الذى ينتج في عمليات الصهر ، إلى تأثيرها المباشر على نوعية الحديد الزهر المنتج في مرحلة الصهر الأولى ، وذلك أن جزءاً من السيليكا الموجود بالشحنة ، يمكن اختزاله تحت ظروف

الصهر هذه ، ويكون السيليكون الناتج جزءاً من شوائب المعدن المنتج . وحتى يمكن التحكم في هذه النسبة ، يلجأ العاملون في صناعة الحديد والصلب إلى « معادلة الخبث » ، بمعنى الوصول إلى تحليل تتساوى فيه مكونات الخبث الحامضية ، وهى السيليكا والألومينا ، مع المكونات القاعدية ، وهى الجير والماغنيسيا . ومع ذلك يراعى وجود زيادة طفيفة للشق القاعدى ، حتى يمكن التخلص من جزء من الكبريت الحامضى ، والحصول على جزء من المنجنيز القاعدى فى المعدن .

ولما كانت عملية تكوين الخبث وإسالة تستهلك كميات كبيرة من الوقود ، فمن الواضح أنه كلما قلت كمية الخبث المنتجة ، وبالتالي كمية الشوائب المكونة أصلاً لهذا الخبث ، كلما تحسنت اقتصاديات الإنتاج ، ويسهل التحكم فى جودة المعدن المنتج .

تركز الحديث فيما سبق عن آثار الشوائب على جودة المعدن المنتج ، إلا أن هناك شوائب أخرى توجد بال خامات ، لها تأثير لا يقل أهمية ، على العمليات التكنولوجية ، مثل الرصاص ، والتيتانيوم ، والزنك ، وألها تأثير على المعدات والبطانات الحرارية للأفران مثل القلوبات . وطبعى أن وجود أى منها بأى خام ، يقلل من قيمته ، وقد يسبب عدم استخدامه نهائياً .

يتضح مما سبق ، أنه عند تقييم خامات الحديد ، فليست نسبة المعدن فيه - رغم أهميتها - هى التى تلعب الدور الأساسى ، ولكن الخواص الفيزيائية للخامات ، ونسب مكونات الخبث بها ، ونسب العناصر الأخرى السابق ذكرها ، هى التى لها الأهمية الأولى . ولذلك فقد يحدث أن تستورد بعض دول العالم ، التى تمتلك خامات الحديد الجيدة ، أنواعاً من الخامات الأقل جودة ، لعمل خلطات للأفران العالية ، تحقق أهدافاً اقتصادية وفنية ، وتضمن إنتاجاً من الحديد الزهر أفضل جودة ، وأقل تكلفة . ومن الطبيعى أن يحدث عكس ذلك أيضاً ، بمعنى استيراد بعض الدول للخامات الجيدة التى لا تتوفر بها ، لتحقيق نفس الأهداف الاقتصادية فى التشغيل .

تجهيز خامات الحديد

نتيجة للتطور التكنولوجي لوسائل الإنتاج ، ونتيجة للدراسات العلمية الميدانية عن عناصر التكلفة الإنتاجية ، ثم تحليل هذه النتائج ، ونتيجة للتعاون بين خبراء الصناعة والاقتصاد ، أصبح من الحقائق الثابتة ، أن كل العمليات التجهيزية التي تجرى مقدماً على خامات تشغيل الوحدات الميتالورجية ، تعود بالفائدة على المراحل التالية في خط الإنتاج ، بحيث أصبح العائد يغطي مصروفات مراحل التجهيز ، ويحقق ربحاً إضافياً .

وتهدف عمليات التجهيز عادة إلى تحقيق مايلي :

- (١) تحسين الخواص الفيزيكية والميكانيكية للخامات ، مع الاستفادة من المخلفات التي تحوى المعدن ، والناجمة من مختلف عمليات الإنتاج أو التصنيع ، وذلك للحصول على التجانس والحجم المناسب اللازمين لشحن الفرن العالى .
- (٢) تحسين الخواص الكيميائية ، ورفع نسبة المعدن في خاماته ، وإزالة أكبر نسبة من مكونات الخبث والعناصر غير المرغوب فيها .

(١) إعداد الخام لتحسين خواصه الفيزيكية والميكانيكية

تتلخص مراحل هذا الإعداد فيما يلى :

أولاً : عمليات التجنيس .

ثانياً : عمليات التكسير .

ثالثاً : عمليات الطحن .

رابعاً : عمليات تجميع النواعم .

وفما يلى نقدم شرحاً مبسطاً لكل منها .

أولاً : عمليات التجنيس :

يقصد بعمليات التجنيس ، كل عمليات مزج وخلط للخامات المختلفة ، بفرض الإقلال من التفاوت في خواصها الفيزيكية والكيميائية . وبهذا المفهوم البسيط ، نلاحظ أن هذه العملية تتكرر مع تعدد مراحل معالجة الخامات ، فتم في أحواش خامات التصدير بالمناجم ، وفي خلال عمليات نقل الخامات من المناجم إلى الكسارات ثم إلى المصانع ، وكما تجرى خلال عمليات التكسير والتشوين بالمناجم أو بالمصانع . وتعتبر عملية التجنيس ، التي تتم

في أحواش تشوين الخامات بالمصانع ، اهم هذه جميعها ، حيث تؤدي طبقا لنظام محدد ودقيق ، وفيما يلي شرح موجز لهذه العملية :

بوصول الخامات إلى المصانع ، غالبا في عربات السكك الحديدية ، يبدأ تفريغ هذه العربات بواسطة مكنة خاصة ، لتشون في بناكر ملحقة ، ينقل الخام منها بواسطة السيور إلى عربة التجنيس . تتحرك هذه على قضبان حديدية ذهابا وعودة ، من أحد طرفي حوش التشوين إلى الطرف الآخر ، كما تتحرك أذرعها الجانبية إلى مسافات عرضية مختلفة عمودية على مسار العربة ، وهي في حركتها هذه تنشر الخامات في طبقات يعلو بعضها بعضا وتغلا حيز التشوين في الحوش ، في شكل هرمي متناسق . فإذا سحب الخام - المشون بهذه الكيفية - في طبقات بمساحة مقطع التشوين العمودي على طول الكوم ، أمكن الحصول على خام متكامل التجنيس ، وأقرب ما يكون إلى تمثيل شحنة التشوين كيميائيا وفيزيقيا . ويتم سحب الخام باستخدام عربة خاصة تسمى عربة سحب الخام المجنس . والتي يتحرك ذراعها الشبكي حركة دورانية مترددة ، ملامسا لسطح الخام بمساحة مقطعه العمودي على طوله ، فيتجمع الخام على سير معدني ، ينقل منه إلى سيور الوحدات التالية ، أي إما إلى صوامع الأفران في حالة استخدام هذه الأفران للخام مباشرة ، وإما إلى كسارات التليد إذا كانت الأفران تستخدم الليد . وفي الحالة الثانية تتكرر عملية التجنيس مع توالى مراجع التكسير والطحن والتشوين والتجهيز في أسطوانات الخلط . وعموما يفضل العاملون بصناعة الحديد والصلب إجراء عمليات التجنيس للخامات المستخدمة كلما سنحت الظروف التكنولوجية بذلك .

ثانياً : عمليات التكسير :

وهذه أولى عمليات تجرى على الخام بعد استخراجه بصفة عامة . ذلك أن أحجام الخام الناتج ، تكون في العادة كبيرة لاتناسب عمليات الصهر ، وعليه تجرى عملية التكسير هذه بهدف الوصول إلى الحجم الملائم ، هذا إذا كانت الخامات المتعامل معها متناسقة التركيب ، أو غنية بالمعدن ، أما إذا كانت هذه الخامات تحوى شوائب ضارة ، أو غير متجانسة ، فيتم تكسيرها بهدف آخر ، هو إعدادها لعمليات التركيز والتجهيز التالية .

وعموماً ، سواء كان الهدف هذا أو ذاك ، فمن المهم تكسير الخام الناتج من المناجم .
وتجرى العملية على مرحلتين :

(١) التكسير المبدئى أو الأولى .

(٢) التكسير النهائى .

وهذا التقسيم تستوجهه عوامل تكنولوجية واقتصادية عديدة ، منها استحالة الحصول على الأحجام المناسبة من الخام ، سواء لعمليات الصهر ، أو لعمليات التركيز من المناجم مباشرة ، وإلا كان ذلك سبباً فى زيادة تكاليف الاستخراج ، بسبب ما يستتبعه من فقد للخام الناعم الناتج ، وزيادة فى نفقات النقل والتشوين . ومن الناحية التكنولوجية ، يتيح هذا التقسيم ، فرصة أمثل للهيمنة على مواصفات المنتج ، وتتبعها مرحلة بمرحلة ، كما يوفر مرونة ودقة فى تصميم وتشغيل وصيانة المعدات المستخدمة ، ذلك أن هذه المعدات تصبح فى هذه الحالة « معدات مرحلية » ، أى مجهزة لإجراء مرحلة معينة ، تتعامل فيها مع مواصفات محددة للخام ، ولتنتج منتجاً محدد المواصفات أيضاً .
وفما يلى نتعرض بالشرح لكل مرحلة على حدة .

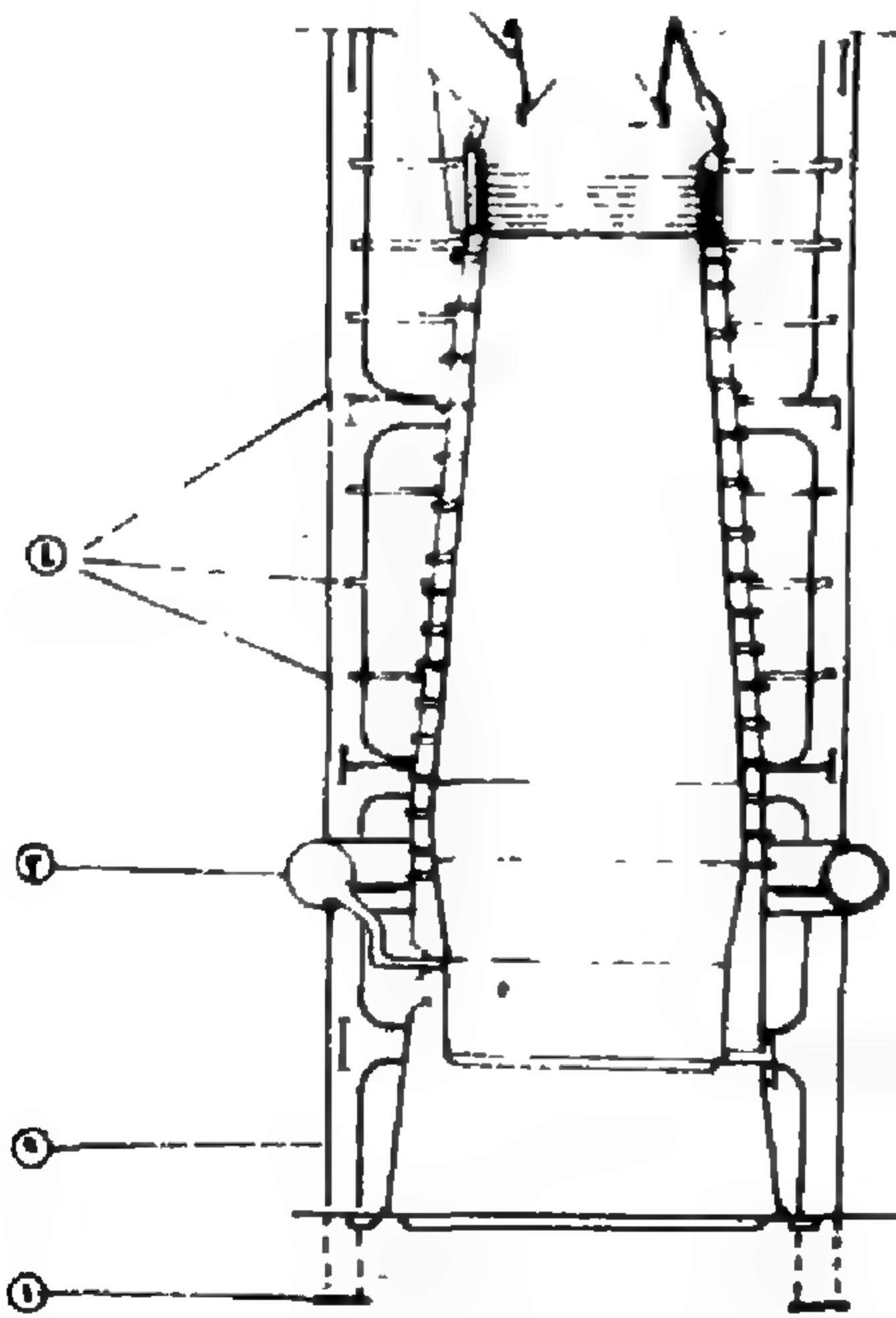
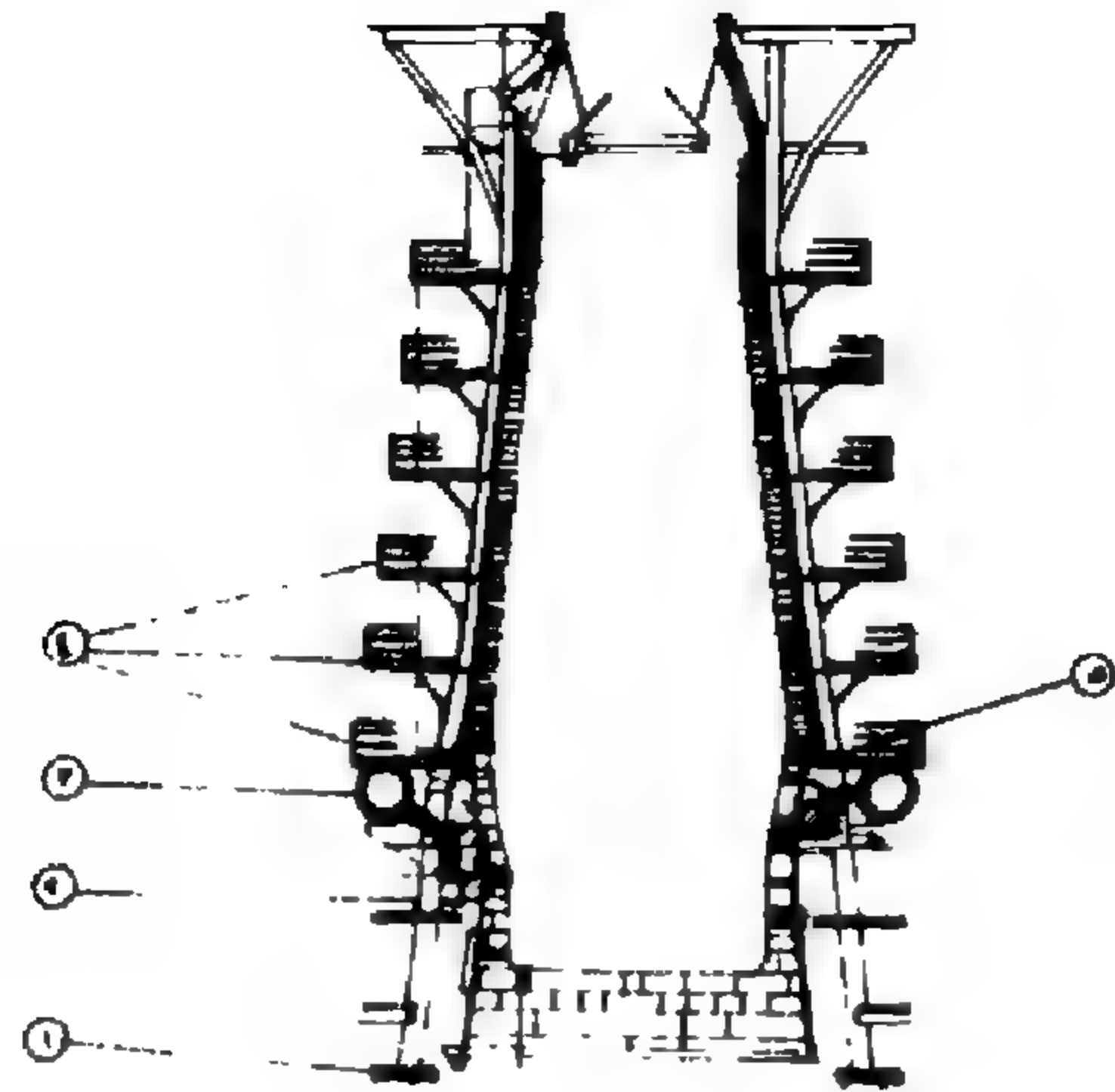
(١) التكسير المبدئى ، وأهم المعدات المستخدمة فيه :

ترد الخامات عادة من مناجمها ، فى أحجام غير متناقسة ، تتراوح مقاييسها ما بين ١٠ و ١٥٠ سم . وتفرغ هذه الخامات على شبك يعلو صوامع التخزين . ويسمح بمرور أحجام معينة منها ، تمثل فى العادة أكبر ما يمكن لمعدات التكسير استقباله . أما الأحجام الأكبر عن المسموح به ، فتحتجز حيث يتم تكسيرها يدوياً أو باستخدام المفرقات . وتسحب الخامات المشونة فى صوامع التشوين ، بعد ذلك ، عن طريق سيور ناقلة إلى صوامع أخرى ، تعلو طواحين التكسير وتغذيها بها ، حسب احتياجاتها ، وقدراتها الإنتاجية . وأهم أنواع الكسارات التى تستخدم فى هذه المرحلة هى :

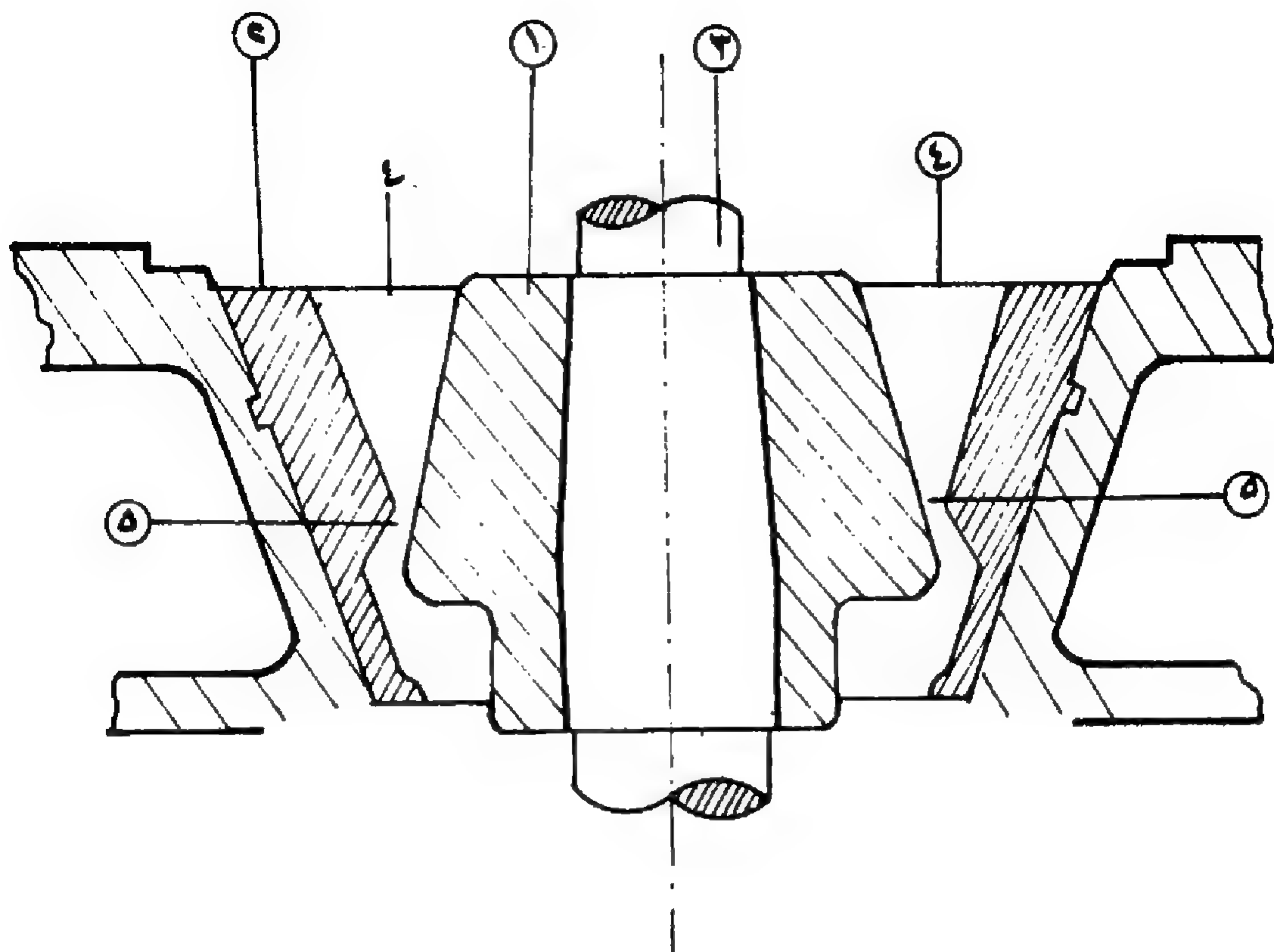
(أ) الكسارات الفكّية .

(ب) الكسارات المخروطية .

(ج) الكسارات الأسطوانية .



شكل ١- الفين الأمريكية والآلية
"معدن الخشب والخرق"



شكل ٢- الكسارة المخروطية

(١) الكسارات الفكية (الشكل ١) :

وهي تستقبل الخامات في مكان مخروطى الشكل ، بين فكى الطحن الثابت والمتحرك . والفك الثابت مثبت في جسم الكسارة ويكون جزءاً منه . أما الفك المتحرك ، فيعمل كجزء مستقل تشده إليها مجموعة من الشدادات واليايات القوية ، وتحدد بالتالى مقاس فتحة الكسارة ، وبالتالى تحدد مقاس حجم الخام المنتج ، وتولد حركة هذا الفك عن كامة (لامركزية) تحركها حداقات أو موتورات كهربائية ، وبذلك تتسع المسافة بين الفكين أو تقل ، حسب حركة الكامة ، وموضع الفك المتحرك ، وينشأ عن ذلك تكسير قطع الخام نتيجة الضغط المسلط عليها إلى أحجام أقل ، عندما تصغر المسافة بينها . ثم يرفع ذلك الضغط بزيادة بعد الفكين عن بعضها بعضاً ، ليسمح للأحجام الصغيرة الناتجة بالهبوط إلى أسفل ، واستقبال الجديد من الخام من أعلى المخروط ، وعليه يتضح أن تكسر الخام بهذه الكيفية ، يحدث نتيجة ضغط الفك المتحرك من ناحية ، ونتيجة ضغط قطع الخام بعضها بعضاً ، نتيجة تناقص الحيز الذى تشغله عند تقارب الفكين من ناحية أخرى .

(ب) الكسارات المخروطية (الشكل ٢) :

وهي تشبه في أدائها الكسارات الفكية ، حيث ينتج عن حركة المخروط غير المركزية ، ضيق الحيز المخروطى بينه وبين الفك الدائرى الثابت ، (الشكل ٢) . ويستعمل النوعان المذكوران في حالة الخامات الصلبة ، أو الخامات التى لاتتفتت بسهولة ، حيث أن عملية تكسير الخامات بالاحتكاك فيما بينها ، تخلف كميات كبيرة من النواعم ، والتالى فهى لاتصلح مع الخامات اللزجة ، وهى الخامات التى تعالج بنوع آخر من الكسارات هى الكسارات الأسطوانية .

(ج) الكسارات الأسطوانية :

وتتكون من أسطوانتين تدوران في اتجاهين متضادين حول محورها ، وتثبت كل منها إلى مكانها بشداد يحفظ المسافة بين الأسطوانتين بالقدر المطلوب ، ويعمل كصمام أمان عند معالجة قطع الخام الصلبة ، حيث يقلل من تآكل سطح الأسطوانة . ويحدث التكسير نتيجة سحب الخام إلى حيز ضيق ، خلال الحركة الدورانية للأسطوانتين ، فيضغطه الخام بعضه بعضاً ، وتضغط سطوح الأسطوانتين على الجزء الملامس لها ويتم التكسير . وحيث أن ضغط الخام بعضه بعضاً أقل منه في حالات النوعين السابقين ، فإن كمية الخامات الناعمة ،

المتولدة في هذه الحالة ، تصبح أقل منها عن حالة سابقتها .
وفي مجال المقارنة بين النوعين الأولين ، يتضح أن الكسارات الفكية ، تتميز بسهولة صيانتها ، وبمقدرتها على التعامل مع الأحجام الكبيرة حتى ١٩٠ سم ، بينما تتميز الكسارات اللامركزية بانتاجها الكبير . وعليه ، فإذا كان الإنتاج المطلوب كبيراً ، تستخدم الطواحين الفكية للتعامل مع الأحجام الكبيرة التي تنفصل على مناخل الكسارات اللامركزية ، ثم يرسل ناتج التكسير - كبير الحجم نسبياً - إلى الكسارات اللامركزية ، ليعاد تكسيه للحجم المطلوب .

٢ - التكسير النهائي :

تتولد عن عمليات التكسير الابتدائي ، وخاصة في حالة معالجة الخامات الصلبة الصعبة التكسير ، أحجام قد تزيد على ٥ إلى ٨ سم ، وهذه الأحجام وإن كانت تصلح لعمليات الصهر في حالة الخامات الغنية ، إلا أنها لاتصلح في حالة الخامات الفقيرة ، التي تحتاج إلى المزيد من عمليات التجهيز ، ذلك أن عمليات التجهيز هذه ، تستهدف الوصول إلى أمثل حجم يمكن من التخلص من الشوائب ، وخاصة مركبات الخبث ، بأقل تكاليف وبأفضل النتائج . وعليه فكلما حالتين تحتم إعادة تكسير ناتج التكسير المبدئي ، وهذا ما يسمى بالتكسير النهائي .

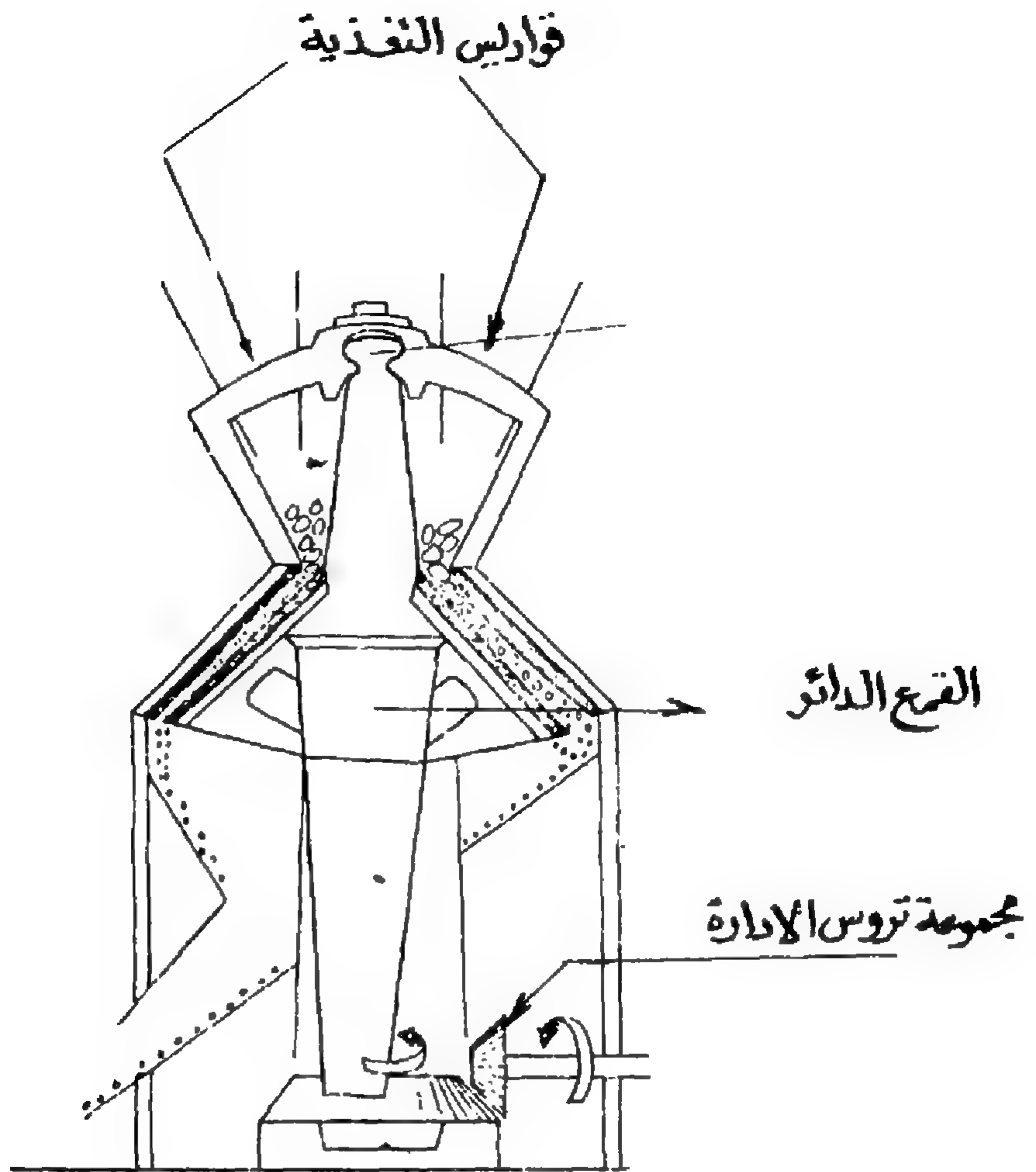
وتستخدم في عمليات التكسير النهائي ، مجموعة من الكسارات ، تختلف عن سابقتها في التصميم ، حيث أن طبيعة العمل وحجم الختام الداخل والخارج أقل بكثير منه في الحالة السابقة ، وأهم أنواع الكسارات المستخدمة في التكسير النهائي هي :

(أ) الكسارات المخروطية .

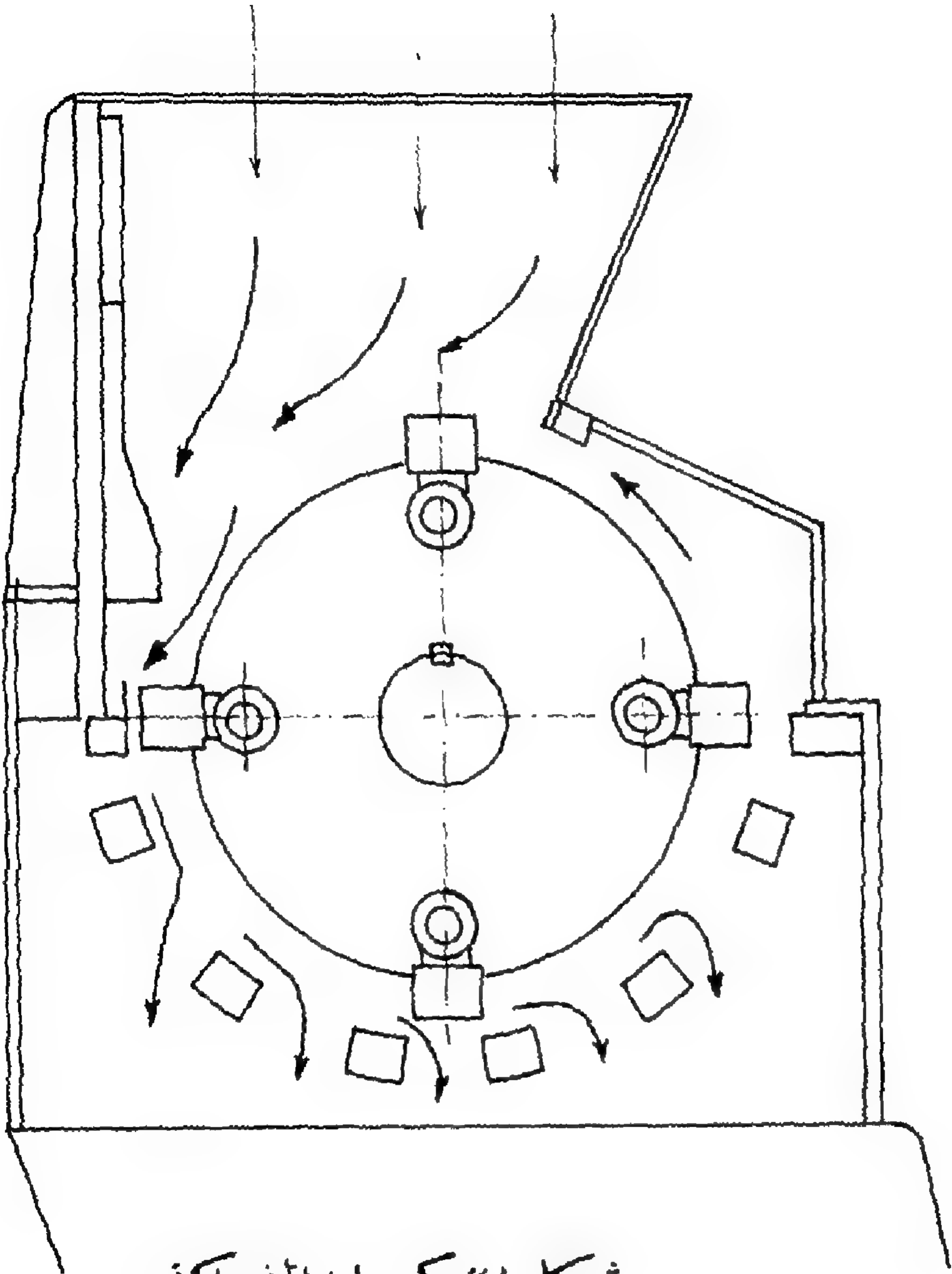
(ب) كسارات الشواكيش .

(ج) الكسارات الأسطوانية .

والكسارات المخروطية والأسطوانية ، قائل تلك التي سبق ذكرها من حيث الشكل وإدارة العمل ، وأما كسارة الشواكيش ، (الشكل ٤) ، فهي عبارة عن مجموعة من الشواكيش المركبة على أسطوانة تدور ، وبالتالي تكتسب الشواكيش سرعة تؤدي إلى قطع الختام عند اصطدامها به ، وتعتبر الكسارات المخروطية أكثر هذه الأنواع انتشاراً واستخداماً .



شكل رقم ٣ الكساره المخروطية



شكل (٤) - كسارة الشواكش

ثانياً - عمليات الطحن :

تنتج عن عمليات التكسير السابق ذكرها ، كميات من الخام ذات أحجام أقل من الأحجام المطلوبة في عمليات الصهر اللاحقة ، وهي تمثل نسبة عالية تؤثر في اقتصاديات المناجم ، لذا يتم تجميعها ودمجها صناعياً في أحجام تتناسب وعمليات الصهر ، كما هو متبع في عمليات التكوير ، التحبيب ، والتطويب ، والتليد ، وغيرها من العمليات الصناعية ، التي تعتمد على ربط حبيبات الخام الناعمة بعضها ببعض ، باستخدام مواد رابطة . ولقد أوضحت الأبحاث العلمية أن هناك حجماً أمثل لحبيبات الخام ، يؤثر تأثيراً مباشراً على جودة الخليط الصناعي المنتج وخواصه ، ولذلك فمن اللازم أن تجري عمليات طحن لهذه الخامات ، بهدف الحصول منها على هذه الأحجام . وبالإضافة إلى ذلك ، فإن غالبية عمليات تركيز الخام التي تعتمد أساساً على فصل الشوائب فيه مثل الفصل المغناطيسي ، وعمليات التعويم وغيرها ، تتطلب في بعض الأحيان أحجاماً غاية في الدقة ، حتى يمكن الاستفادة من التفاوت في الخواص الفيزيائية كالوزن ، والمغنطة ، والذوبان ، إلخ . في عمليات الفصل بين المعدن والشوائب مما يستلزم طحنها طحناً دقيقاً .

وتستخدم في عمليات الطحن الدقيق مجموعة من الطواحين أهمها :

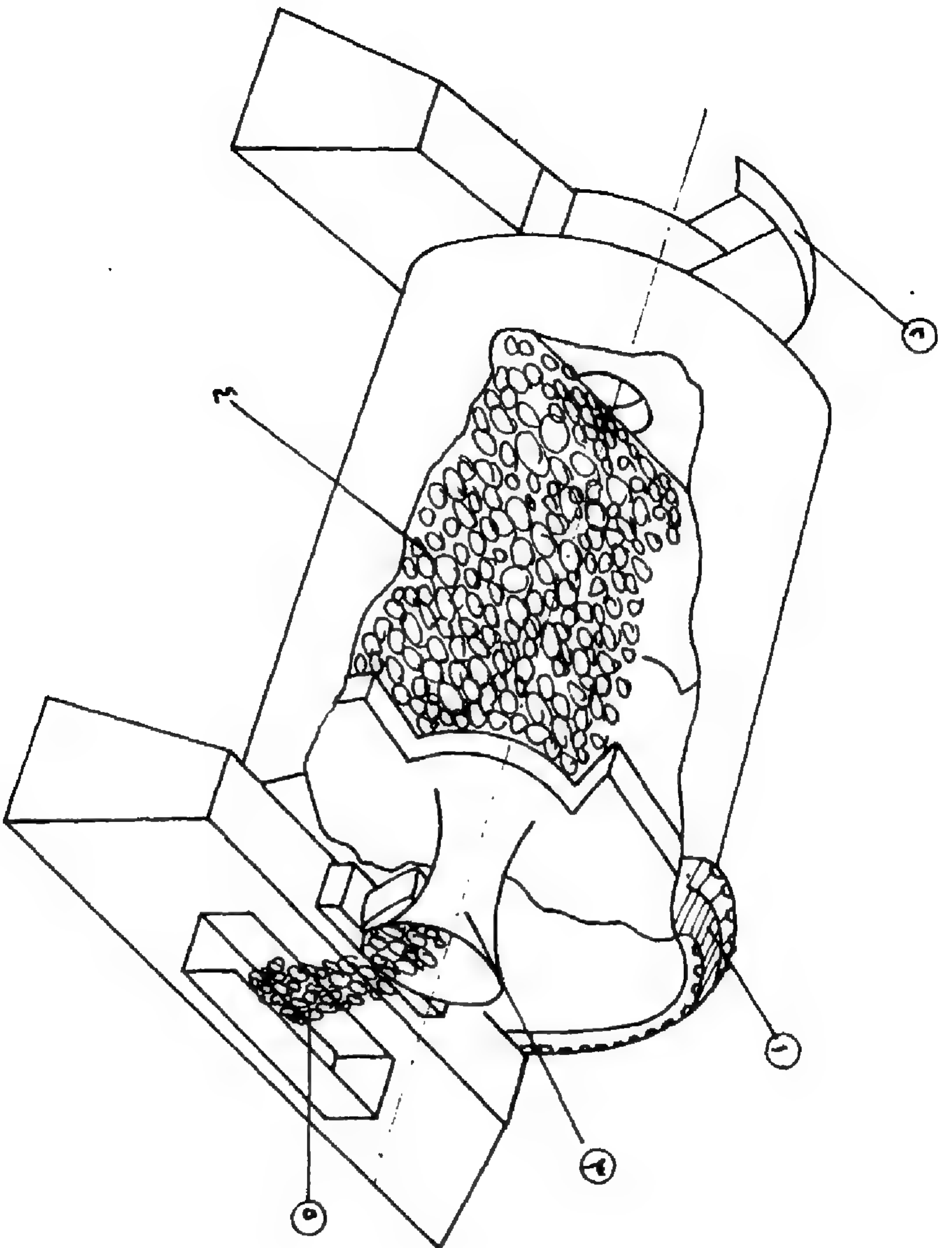
(أ) طاحونة القضبان .

(ب) طاحونة الكرات .

(ج) طاحونة المواسير .

وأهمها وأوسعها انتشاراً ، طواحين الكرات ، وطواحين القضبان . وتتكون الطاحونة من أسطوانة من الصلب تدور حول محورها ، وتكون إما مخروطية في نهايتها ، وذلك عند استخدام المياه لحمل ناتج الطحن ، أو تميل على الأفق بزاوية ٣° . ويتدافع الخام منها نتيجة الحركة الدورانية تجاه نهايتها ، حيث يوجد منخل يسمح بمرور الأحجام المطلوبة . أما مايزيد عنها ، فيعود ثانية إلى الطاحونة في دائرة مغلقة ليعاد طحنه . ويحدث الطحن نتيجة الخبطات التي تسببها القضبان أو الكرات للخام المشحون ، بالإضافة إلى احتكاك الخام بعضه ببعض .

وتظل القضبان أو الكرات ملازمة لسطح الأسطوانة الداخلي حتى الارتفاع الذي تتغلب فيه الجاذبية الأرضية على السرعة الدورانية التي يكتسبها القضيب أو الكرة ، نتيجة



شكل ٥ - ملاحضة الكرات

دوران الأسطوانة فتسقط . لذلك يجب ألا تزيد السرعة على القيمة التي تسمح بذلك ، أى تتحاشى الوصول إلى السرعة التي يصبح عندها القضيب أو الكرة جزءا متحركا لا ينفصل عن الأسطوانة ، وهى التي تسمى « السرعة الحرجة » ، وعندها يصبح عدد لفات الأسطوانة حسب المعادلة التالية :

حيث :

ن ، عدد لفات الأسطوانة في الدقيقة ،

ق ، قطر الأسطوانة بالسنتيمترات .

وتستعمل طاحونة الكرات في الحالات التي تتطلب أحجاما صغيرة من الخام ، بينما تستعمل طاحونة القضبان للحصول على أحجام أكبر ، وإنتاجيتها أكبر من طاحونة الكرات بالنسبة لحجم معين من الخام .

ثالثا - عمليات تجميع نواعم الخام :

تنتج عن عمليات طحن الخام أو عمليات التركيز التي سنذكرها فيما بعد ، كذلك تتولد عن عمليات تنظيف غازات الأفران العالية ، كميات هائلة من الخام الناعم ، الذي لا يمكن استخدامه في الأفران العالية مباشرة ، ولكن لا يمكن إهلاكها اقتصاديا ، ولذلك تخضع هذه الأحجام للمعالجة ، بفرض ربط وتجميع حبيباتها في أحجام أكبر ، تكون متماسكة وتجانسة ، ولها الخواص اللازمة للخامات المشعونة بالأفران العالية .

وتجميع هذه الخامات الناعمة وربطها بعضها ببعض ، إما أن يكون نتيجة إضافة مواد رابطة ، دون أن تتعرض الخامات الناعمة ذاتها للانصهار ، وإما أن تنصهر هذه جزئيا بالحرارة ، فتتربط معا نتيجة ذلك ، دون إضافة لمواد رابطة . ومن النوع الأول طرق التطويب ، والتكوير ، والتحبيب . ومن طرق النوع الثانى عمليات التليد . وفيما يلى شرح موجز لهذه الطرق .

١ - التطويب :

في هذه العملية ، تخلط الخامات الناعمة مع المواد الرابطة في أسطوانات خلط دورانية ، مع إضافة نسبة محدودة من الماء لترطيب الخليط . ثم يشكل الخليط بالضغط في مكابس هيدروليكية أو ميكانيكية إلى الأحجام المطلوبة . وتترك القوالب المنتجة بعد ذلك فترة من

الزمن حتى تتماسك ، بعدها تجفف في أفران تجفيف (درجة حرارتها لا تتعدى ١٥٠° مئوية) ، أو تترك في الهواء حتى تجف . وتمتاز القوالب الناتجة بالتماسك المتين ، وبالمقاومة الكبيرة للضغط والاحتكاك .

والمواد الرابطة المستخدمة في هذه الحالة ، هي عادة الأسمنت ، أو الطين الحراري ، أو القطران ، أو الجير . يستخدم الجير بصفة خاصة مع الخامات التي تحوى نسبة عالية من السيليكا .

٢ - التكوير :

يشحن الخليط المرطب من الخام والمواد الرابطة بعد تقطيعه إلى قطع صغيرة ، مع الفحم الناعم جداً ، في أسطوانات دورانية أفقية ، حيث تتحول القطع الصغيرة إلى كرات يغطى سطحها الخارجى بالفحم الناعم جداً ، لإكسابها الصلابة المطلوبة ، ثم يترك الناتج ليجف . وهذه الطريقة حديثة الاستخدام نسبياً ، ولكنها تنتشر بسرعة في أمريكا ، واليابان ، والاتحاد السوفيتى .

٣ - التحبيب :

تجرى هذه الطريقة في أفران دورانية عالية الحرارة ، وتنسب إلى حد كبير عملية التكوير ، وإن كانتا مختلفان في طبيعة المادة الرابطة ، والمادة الرابطة في حالة التحبيب هي (المعجون) الناتج عن عملية تسخين الخام إلى درجة حرارة قريبة من نقطة انصهاره . وقد يضاف القطران أحياناً بنسب صغيرة ، ليكون بمثابة نواة لتجميع الحبيبات حوله ، ثم يتطير بارتفاع درجة حرارة الفرن .

وتحتاج هذه الطريقة إلى دقة بالغة ، حيث يلزم تسخين الخام إلى درجة الحرارة التي تبدأ عندها ميوعته أو طراوته ، دون أن ينصهر . ويكون الناتج عادة غير مسامى ، مما يصعب معه استغلاله في الفرن العالى ، خاصة وأن التحكم في أحجام المنتج لا يزال يسبب الكثير من المتاعب .

٤ - التلييد :

هو إحدى عمليات تجميع نواعم الخامات ليعاد شحنها بالفرن العالى . وهي تعتمد على ربط حبيبات هذه الخامات بعضها ببعض ، برفع درجة حرارتها إلى ما يقرب من نقطة انصهارها ، وذلك عن طريق احتراق كميات الفحم الناعم التي تضاف إلى هذه الخامات .

ونتيجة لذلك تتكون سيليكات المعدن ، ودرجة حرارة انصهارها منخفضة نسبياً ، وهي التي تقوم بدور ربط الحبيبات مع بعضها بعضاً . وبالإضافة إلى ذلك ، تتكون مجموعات أخرى من المركبات الكيميائية ، تلعب دوراً رئيسياً في الربط بين الحبيبات .

ونظراً لارتفاع درجة الحرارة اللازمة للعملية فإن عملية التليد يمكن اعتبارها إحدى عمليات التخميص . ذلك لأن خامات السيدريت والكبريتيدات ، تتخلص من غاز ثاني أكسيد الكربون ، ويحترق الكبريت فيها تباعاً خلال عملية تليدها .

وتتكون وحدة تليد الخامات ، من مجموعة من العناصر يختص كل منها بعملية محددة تتم داخلها ، وتكون فيما بينها خط الإنتاج المتكامل .

(١) عنبر الاستقبال : هو المكان الذي تستقبل فيه الخامات التي تستخدم في الوحدة ، وهي خامات الحديد أو مركباتها ، والفحم الناعم ، والحجر الجيري أو الجير ، الدولوميت ، وقشور الدرفلة ، وبيريت الحديد ، وأتربة غازات الأفران العالية . ويتكون العنبر من مجموعة من الصوامع ، يحدد توزيعها وتقسيمها على الخامات حسب الكميات المطلوبة من كل منها ، وتسحب الخامات منها بعدئذ إلى عنبر الشحن ، أو إلى حوش شحن الوحدة حسب الحاجة .

(٢) عنبر الشحن : ويتكون من مجموعة من الصوامع ، كل منها مجهز بميزان هزاز في أسفلها ، يتحكم في كميات الخامات المسحوبة منه تباعاً ، وفقاً للحسابات المحددة للشحنة ، بمعنى أن الشحنة على السير الناقل المائل أفقياً أسفل هذه المجموعة من الصوامع ، تكون من طبقات من الخامات يملأ بعضها بعضاً . وعلى سبيل المثال ، قد تتوالى الطبقات على النحو الآتي :

خام الحديد - رماد البيريت - تراب الغازات - قشور الدرفلة - الحجر الجيري - فحم الكوك - ثم ناتج مروقات المياه ، ويجرى تغذية هذه الصوامع بالخامات باستخدام عربات توزيع خاصة .

(٣) عنبر الخلط :

تنقل الخامات من عنبر الشحن ، عن طريق السير المار أسفل الصوامع إلى عنبر الخلط ، الذي يحوي مجموعة من الصوامع لاستقبال الشحنة المذكورة ، ويحوي كذلك صوامع استقبال راجع التليد البارد - وهو اللبيد ذو الأحجام الأقل من المطلوب للأفران

العالية ، والناتج عن عملية نخل اللييدات ، ثم صوامع راجع اللييد الساخن الناتج على عملية النخل قبل المبرد ، والتي تحوى أحيانا بعض الخامات التي لم يتم تلييدها ، وذلك بالإضافة إلى الأتربة المجمعة على ماسورة السحب .

وتوجد بالعنبر أيضا أسطوانة الخلط ، وهي أسطوانة مائلة على الأفق بمقدار ٢٥ درجة ، تلف حول محورها الأفقى بسرعات متعددة تتراوح ما بين ٤ ، ١٠ لفات في الدقيقة ، وبها مجموعة من الرشاشات ، لتوصيل المياه اللازمة لترطيب الشحنة . وتغذى الأسطوانة عند أحد طرفيها ، بالشحنة مضافا إليها نسبة محسوبة من راجع اللييد البارد والساخن ، حيث تعمل البريمة الأسطوانية الموجودة داخل الأسطوانة على تقليب الشحنة ، وبالتالي تجنيسها وتكويرها . وتخرج من الطرف الآخر للأسطوانة ، الشحنة المتجانسة . وتتراوح القدرات الإنتاجية لأسطوانة الخلط من ١٢٠ إلى ١٨٠ طن / ساعة .

(٤) عنبر مكنة التلييد :

وهنا يتم تحويل خليط شحنة الخام واللييد المرتج المتجانس والمخلوط بعنبر الخلط إلى لييد متماسك صالح للاستخدام فى الأفران العالية ، ويحوى العنبر صومعة استقبال للشحنة ، وأسطوانة خلط أخرى ، الغرض منها إعادة تجنيس الشحنة وتكويرها مع ضبط كمية الرطوبة اللازمة للشحنة قبل عملية تلييدها (١٢ ٪ تقريبا) . كذلك يحوى العنبر مغذى بندولى لتوزيع الشحنة فى طبقات متتالية يعرض حصيرة المكنة ، وكذلك يوجد فرن الإشعال .

ولكن أهم محتويات هذا العنبر ، هى مكنة التلييد ذاتها . وهى عبارة عن مجموعة عربات متحركة على سير لانهاى شكل ١٥ ، مركب بها مجموعة من القضبان (الباطات) ، ذات شكل معين ، تكون فيما بينها ما يشبه الحصيرة ، ولذلك تسمى حصيرة التلييد ، بينها فراغات تسمح بسحب الهواء خلال شحنة الخامات المطلوب تلييدها والتي تعلوها . لذلك يجرى نخل الشحنة الخارجة من أسطوانة الخلط الثانوى ، وتجميع الأحجام الكبيرة منها نسييا ، حيث تفرش على سطح حصيرة التلييد قبل إضافة الشحنة بأحجامها الناعمة ، وتتلخص فائدة هذه الطبقة من الأحجام الكبيرة ، فى منعها للأحجام الصغيرة من الهبوط بين فتحات الباطات عند سحب الهواء ، وكذلك لتخفيف أثر زيادة رطوبة الغازات الخارجة فى نهاية عملية التلييد ، لتعاشى تكوين طبقة طينية تغلق الفجوات بين الباطات ، تقاوم عملية

سحب الهواء خلال الشحنة . ويوجد تحت حصيرة المكنة ، عدد من غرف سحب الهواء كل منها مزودة بيلف اختناق متصل بمروحة سحب الغازات العادمة .

وتوجد في العنبر أيضا كسارة اللييد المركبة في نهاية المكنة لتكسير كتل اللييد إلى الأحجام المناسبة . ويتبعها منخل اللييد الساخن الذي يستقبله قبل شحنه بالمبرد لفصل الأحجام الصغيرة منه (أقل من ٥ إلى ٨ مم) ، وذلك لرفع كفاءة التبريد للمبرد ، وينتهى عنبر المكنة بمبرد اللييد الذي يستخدم لخفض درجة حرارة اللييد (٦٥٠ م - ٧٠٠ م) إلى حوالي ١٠٠ م ، باستخدام مروحة لسحب الهواء الجوى خلال شحنة المبرد ، ليكن نقل اللييد باستخدام سيور الكاوتشوك الناقلة ، دون تعريضها للاحتراق .

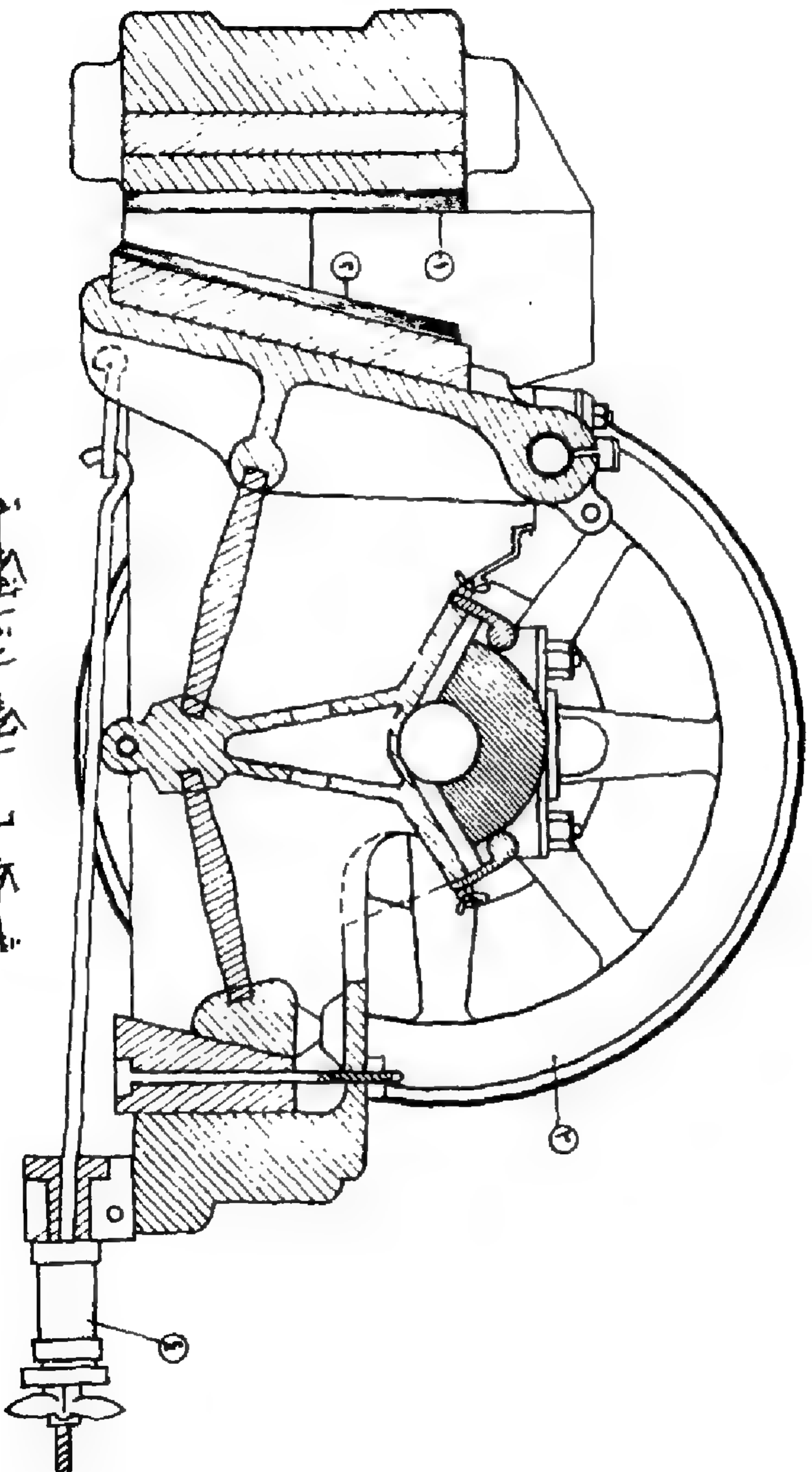
وتجهز وحدة التلييد عادة بمجموعات من أجهزة التحكم الآلى ، والأوناش ، ومحطات التشحيم ، ومحطات ظلمبات ، ومحطات تكييف الهواء ، وسحب الأتربة الناعمة من محيط العمل ، بالإضافة إلى ورش كاملة الأعداد للميكانيكا ، والكهرباء ، والأجهزة .

شرح عملية التلييد :

بعد فرش طبقة الخامات وراجع اللييد الخشنة على الحصيرة ، تضاف عن طريق المغذى البندولى ، شحنة اللييد المتجانسة ، ويسوى سطحها بواسطة أسطوانة دورانية ، ثم بعد ذلك تحت فرن اشعال مكنة التلييد . وهو عبارة عن فرن إشعال مبطن بالطوب الحرارى به مجموعة من الرشاشات التى تعمل بالمازوت ، وعليه تشتعل المواد القابلة للاشتعال على سطح الشحنة (الكوك) ، ويسحب الهواء خلال غرف السحب ، فترتفع درجة حرارة الشحنة ، وتنتقل منطقة الاحتراق تدريجيا إلى أسفل تصحبها مجموعة من التغيرات الفيزيكية والكيميائية التى ينجم عنها اللييد بعدئذ . ولايضاح ما يحدث ، يمكن تصور أن هذه التفاعلات تتم فى طبقات منفصلة كل منها عن الأخرى ، وتندرج من أسفل إلى أعلى ، حسب الترتيب التالى (شكل ٦) .

١ - طبقة من الشحنة الاصلية ، وهى لم تتعرض للتغيرات بعد .
٢ - الطبقة الطينية ، وهى طبقة الشحنة الباردة التى تكثف على سطحها بخار الماء المتصاعد من مناطق الاشتعال والتفاعلات التى تعلوها ، وبالتالي كونت مع حبيبات الشحنة مايشبه الطين .

٣ - الطبقة المجففة ، وهى الطبقة الموجودة تحت منطقة الاشتعال مباشرة فى اتجاه السحب ، والتى تنسحب الغازات الناتجة من المنطقة التى تعلوها فى تجفيفها وإعدادها .



(٧) عجلة الإدارة

(٤) متحركة الفك

JAW CRUSHER

شكل ٧ - الكسارة الفككية

(١) جانب الفك الرئيس
(٥) الفك

٤ - منطقة الاشتعال ، وهي المنطقة المجففة التي ارتفعت درجة حرارة مكوناتها تدريجياً نتيجة مرور الغازات الساخنة الناجمة عن التفاعلات والاشتعال بالمناطق التي تعلوها ، حتى بلغت درجة حرارة الوقود الموجود بالشحنة ، درجة حرارة الاشتعال ، فبدأ يشتعل . وفي جميع المراحل التي سبق ذكرها ، تكون الغازات الناتجة ذات طبيعة اختزالية ، بمعنى أن أكاسيد الشحنة تتعرض للاختزال التسيبي بمرور هذه الغازات خلالها ، ولو أن درجة الحرارة المنخفضة لاتساعد على ذلك كثيراً .

٥ - منطقة الأكسدة ، بانتهاء عملية الاشتعال ، ومع ارتفاع درجة حرارة المنطقة ، وفي الوقت ذاته مع مرور الهواء الجوي المؤكسد خلال الشحنة ، فإن كثيراً من الأكاسيد السابق اختزالها ، وكذلك بعض الأكاسيد غير المشبعة بالأوكسجين ، وخاصة الناتجة من تحليل كربونات وكبريتات المعدن نجد الفرصة لاستعادة الأوكسجين المسلوب منها . وتتبع عملية الأكسدة هذه ، إعادة بناء بلورات المعدن على سطح حبيبات الخام ، مكونة بذلك ارتباطاً بين كل حبة من الخام المجاورة لها . وقد يبدأ الارتباط خلال مرحلة الاختزال التي تسبق مرحلة الاشتعال والأكسدة .

وتنتج خلال تفاعلات الأكسدة المذكورة ، كميات هائلة من الحرارة ، يتبعها ارتفاع درجة حرارة الشحنة ومكوناتها ، فتتحد بعض أكاسيد المعدن مع بعض التسائب كالسيليكا ، مكونة السيليكات ، التي تتسبب في ترابط حبيبات الخام بعضها ببعض ، عند انخفاض درجة الحرارة وتماسك هذه السيليكات مكونة اللبيد .

ومع استمرار سحب الهواء خلال شحنة اللبيد ، وابتعاد منطقة الاشتعال عن طبقة ما ، تتم في الواقع عملية تبريد جزئي للشحنة في هذه المنطقة .

ومن الطبيعي أن تتداخل هذه الطبقات إحداها في الأخرى ، بمعنى أنه ليس هناك فاصل محدد دقيق يفصل بينها . ذلك أن هناك العديد من الخواص الكيميائية والفيزيائية ، التي تتحكم في مثل هذه التفاعلات المتواصلة ، حتى يتم تلييد آخر شحنة فوق الباطات . ويتراوح سمك شحنة اللبيد على المحصورة ما بين ١٥ و ٣٠ سم .

ومعدل انتقال سطح الاشتعال داخل الشحنة ، يسمى « سرعة التلييد الرأسية » . وعليه يجب الربط بين السرعة الأفقية للمكنة ، وبين سرعة التلييد الرأسية هذه ، بحيث تتم عملية التلييد تماماً ، مع اقتراب نهاية مسار المكنة ، أي حتى قرب نهاية غرف سحب الهواء .

وتتحكم في الليد المنتج . خواص كيميائية وفيزيكية تحدد مدى جودته ، وتصلح أساساً للمقارنة . وهذه الخواص هي :

- ١ - الصلابة ، والتماسك ، وكبر الحجم .
 - ٢ - أن يكون له قدرة تفاعل كيميائي كبيرة ، وكذلك مسامية كبيرة .
 - ٣ - أن تكون المكونات صعبة الاختزال قليلة مأمكن .
 - ٤ - أن لا يوجد أى جبر في صورة حرة ، أى غير مرتبط بمواد أخرى ، لأن ذلك يقلل من صلابة الليد ، ومقاومته للظروف الجوية والتخزين .
- ويلاحظ أن بعض المتطلبات من الخواص المذكورة ، تتعارض فيما بينها ، فمثلا تعتمد قوة التماسك والصلابة إلى حد بعيد على نسبة سيليكات المعدن صعبة الاختزال ، وغير المرغوب فيه وجودها . لذلك كان إنتاج الليد الذى يلائم كل المتطلبات ، يكاد يكون مستحيلا ، وخاصة إذا كانت الخامات المستخدمة أصلاً غير عالية النقاء ، ويخضع الاختيار في تفضيل أحد المتطلبات على الآخر ، للتجربة المحلية لكل وحدة ، وكل خام ، وكل مكان .

٢ - إعداد الخام لتحسين خواصه الكيميائية

يتلخص هذا الإعداد في عمليات تركيز الخامات ، وهى العمليات التى تجرى عليها بهدف فصل الشوائب والمواد غير المرغوب فيها ، والتى تكون متحدة كيميائيا أو مختلطة بها . وتبعاً لذلك ، تنوعت واختلفت أساليب العلاج بدءاً من التنقية اليدوية على السيور الناقلة خلال عمليات التكسير ، إلى التصنيف ، والفصل المغناطيسى أو الكهربائى ، أو استخدام طريقة الوسط الثقيل ، وكلها عمليات تجرى في درجات الحرارة العادية ، وأخيراً التخميص الذى تتعرض فيه الخامات لرفع درجات حرارتها .

وعموماً ، تعتمد عمليات التركيز من حيث المبدأ ، على إمكانية استغلال اختلاف الخواص الفيزيكية والكيميائية للخامات والشوائب الملازمة لها ، في فصل حبيبات كل منها عن بعضها بعضاً . ويتم ذلك بإحدى الطرق التالية :

- ١ - التصنيف .
- ٢ - التركيز باستخدام التوتر السطحي .
- ٣ - الفصل المغناطيسى .
- ٤ - الفصل الكهربائى .
- ٥ - التخميص .

١ - التصنيف : وتعتمد هذه الطريقة على اختلاف الكثافة ، والحجم ، والشكل للحبيبات المواد المطلوب تركيزها ، بمعنى استغلال كل المؤثرات التي تؤثر في مسار هذه الحبيبات في وسط سائل . وتجري هذه العملية بضغط السائل خلال طبقة من الخام ، ثم يسحب السائل بعد ذلك لتعود مكونات الطبقة إلى السكون مرة أخرى ، وهكذا ، فعند اندفاع السائل تسبح مكونات طبقة الخام في حمام مغلق ، بحيث ترتفع المكونات الثقيلة بقدر محدود ، أما الشوائب الخفيفة ، فترتفع مسافة أكبر ، ثم يسحب السائل ، يحصل على تدرج للحبيبات المكونة للطبقة حسب أوزانها ، أما الشوائب الخفيفة ، وخاصة المواد الطينية ، فيتم التخلص منها مع ارتفاع السائل فجأة في الحمام ، وحيث أن كمية السائل المدفوعة أكبر من حجم الحمام ، فإن الزيادة تتسرب إلى توصيلات جانبية ، حاملة معها هذه المواد الخفيفة . وبتكرار هذه العملية ، تتكون في الحمام طبقات من المكونات الثقيلة ، تنتقل بعدئذ إلى أماكن التخزين . وهي إما حبيبات صغيرة ذات كثافة عالية ، وإما حبيبات كبيرة ذات وزن ثقيل . ولذا تجرى عليها بعد ذلك عمليات فصل بالمناخل أو « الفرايل الآلية » أو باستخدام « طاوولات التركيز » ، ليم فصلها بعضها عن بعضها الآخر ، وبالتالي يتم الحصول على الخام المركز .

مما تقدم ، يتضح أن الفصل في طريقة التصنيف المشار إليها ، قد اعتمد فعلياً على الوزن الكلى للحبيبات المفصولة ، مما قد ينجم عنه أن يكون ناتج عمليات الفصل حاوياً لمعادن أخرى لها نفس كثافة المعدن المطلوب فصله أو أكثر منها ، بالإضافة إلى احتمال وجود حبيبات كبيرة من حبيبات الشوائب المراد فصلها . لذلك استحدثت طريقة الفصل المعروفة باسم « الفصل باستخدام الوسط الثقيل » ، التي تعتمد على كثافة المواد المراد فصلها ، واختلافها عن كثافة الشوائب والمواد غير المرغوبة الموجودة معها . فمثلاً نجد أن كثافة السيليكا تساوي ٢,٦٥ جم لكل سم^٣ ، وكثافة أكسيد الحديد تساوي ٣,٥ جم لكل سم^٣ ، وعليه فإذا وضع الخام في سائل كثافته ٣ جم لكل سم^٣ ، فإن السيليكا تطفو ، بينما يترسب أكسيد الحديد في القاع . وتستخدم الجالينا أو الماجنتيت في الحصول على السائل ذي الكثافة العالية . وتستخدم هذه الطريقة مع الحبيبات الكبيرة نسبياً ، وهي رخيصة التكاليف ، وتحتاج لعناية تامة في استرداد المادة المضافة لرفع كثافة الوسط السائل .

٢ - التركيز باستخدام التوتر السطحي : وتعتمد هذه الطريقة على اختلاف حساسية التوتر السطحي للمعادن المختلفة . وتطبق على الخامات المطحونة الناعمة جداً ، ولا تقتصر نتائجها على فصل المعدن عن الخام ، بل تتعداها إلى فصل المعادن بعضها عن بعض ، ويمكن تلخيص فكرتها في الآتي :

بإمرار فقاعات هوائية خلال سائل يحوى حبيبات من معادن مختلفة ، فإن بعض ذرات هذه المعادن تعلق بالفقاعات ، وترتفع لتعوم على سطحه ، حيث يمكن تجميعها واستخلاص المعادن منها . ولما كانت الخواص السطحية للخامات والمعادن ، تتفاوت فيما بينها تفاوتاً صغيراً جداً ، فلهذا يجب تكبير هذا التفاوت ، ويتم ذلك باستخدام مركبات عضوية تسمى « المجمعات » ، وهى إما زيوت عضوية مثل الكيوسين ، أو الديزل ، أو زيت الوقود ، أو قواعد عضوية . ومن خواص هذه المجمعات ، أن تتأين فى المحاليل المائية ، وعليه تتحد مع أيونات المعدن المراد فصله ، مكونة مركبات غير قابلة للذوبان فى المحلول ، تغطى سطح المعدن وتكسبه صفة التوتر السطحي للزيت المستخدم ، بمعنى تملكه لزاوية التصاق كبيرة مع الماء .

واختيار نوعية المجمع ، يعتمد أساساً على عوامل أهمها :

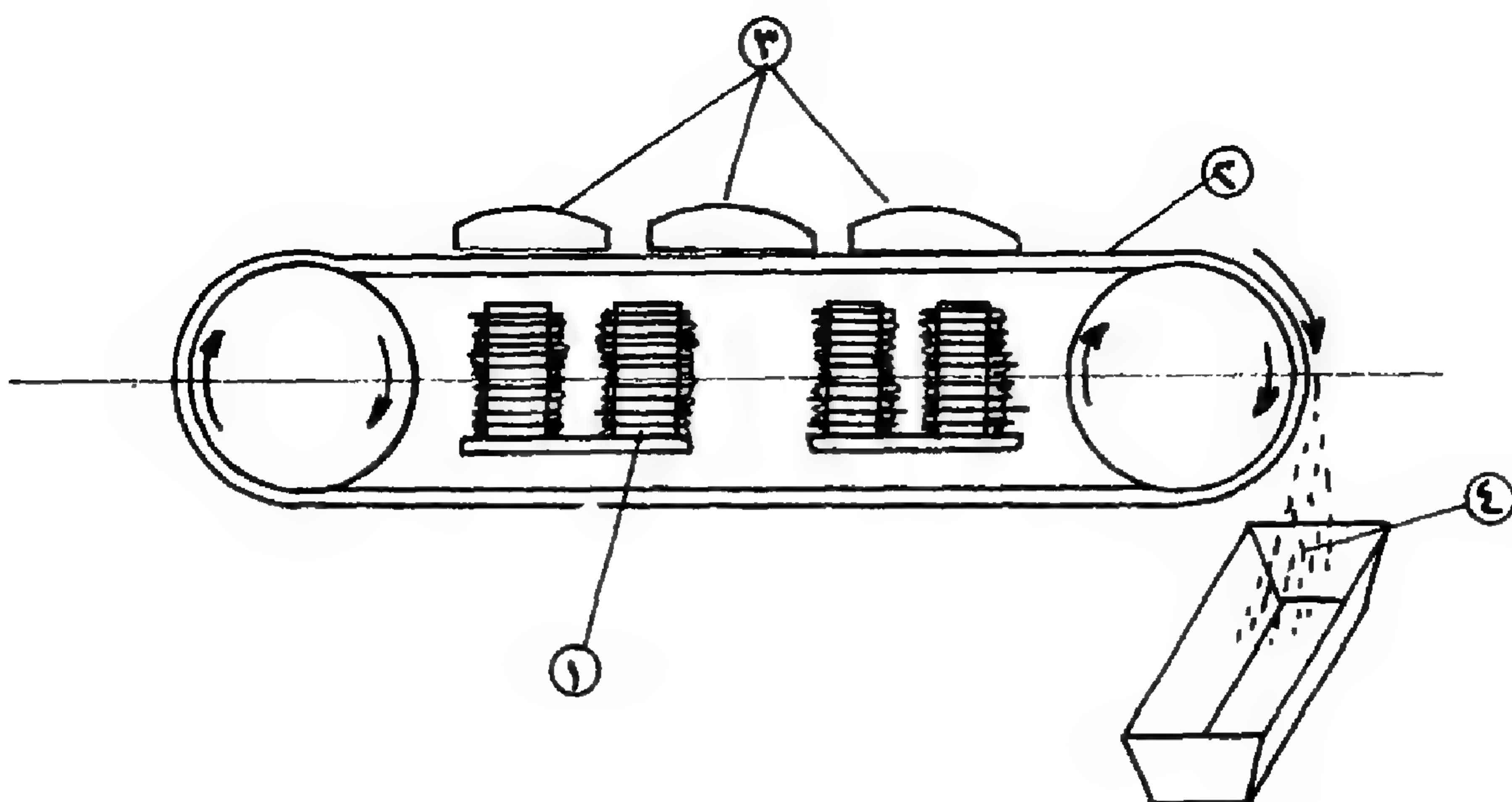
(أ) طبيعة المعادن الذى يحوى عليها الخام .

(ب) درجة أكسدة هذه المعادن .

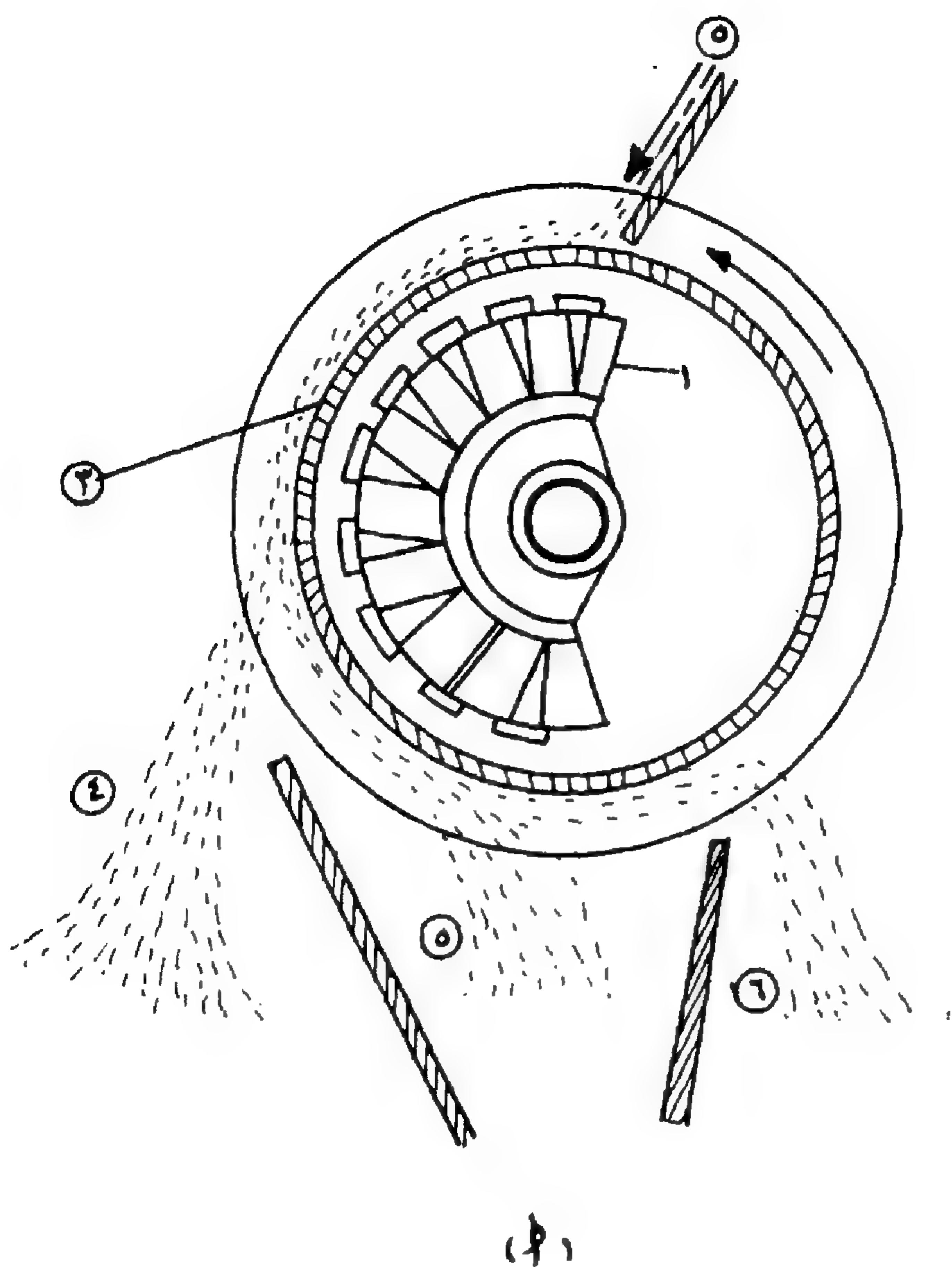
(ج) وجود المعادن الثقيلة ، حتى ولو بنسبة ضئيلة .

وعلاوة على ذلك ، فإن إضافات أخرى تضاف إلى المحلول وتسمى « المنظّات » . وتركز أهميتها فى حفظ « الرقم الهيدروجينى » للمحلول فى أضيق الحدود ، بحيث يمكن التفرقة بين المعادن نتيجة لمدى تجاوزها مع قيمة هذا الرقم الهيدروجينى . وتستخدم الكربونات وسيليكات الصوديوم وحامض الكبريتيك والقلويات لذلك .

ويمكن ، بتنشيط أو تهيبط خواص السطح للمعادن باستخدام « المنشطات » أو « المهبطات » ، أن يتم فصل المعادن بعضها عن بعض . وتتلخص نظرية عمل المنشطات أو المهبطات ، فى تعريض أو عدم تعريض سطح المعادن للمحيط ، فثلاً عند فصل الرصاص عن الجالينا ، يستخدم كبريتيد الصوديوم ، الذى يغطى سطح الجالينا تماماً ، حتى لا تجرد أى أيونات للرصاص أية جالينا طليقة ترتبط بها ، وعلى هذا فكبريتيد الصوديوم يعتبر مفيداً فى



الشكل ٧ - الفاصل المغناطيسي ذو السور



شكل ٨ - الفاصل المغناطيسي الدائري

هذه الحالة كمهبط ، وهكذا . ويحدث التنشيط أو التهييط إما عن طريق عامل مساعد ، كالمثال السابق ، أو بمنع ترسيب مركب الجمع على سطح المعدن .
وتضاف عادة في مثل هذه العمليات ، مواد تسمى « المرغيات » أو المواد التي تساعد على تكون فقاعات ثابتة ، لها القدرة على حمل المادة المطلوب تعويمها ، وفي الوقت نفسه لا تكون معه ارتباطاً قوياً ، بحيث يمكن فصل المعدن عنها برشها بالماء .
وتجرى عملية الفصل هذه فيما يسمى « خلية التعويم » ، حيث يضغط الهواء خلال المحلول الموجود بها ، فتتكون فقاعات تتصاعد إلى سطحه ، حاملة المعدن المطلوب ، حيث تتجمع على هيئة فقائيع تسحب إلى مجمعات المعالجة ، للحصول على المعدن منها بالرش بالماء . ثم ينقل المحلول إلى خلية أخرى حيث تجري عليه نفس الخطوات السابقة ، ثم إلى أخرى ، وهكذا ، حتى تنخفض نسبة المعدن في المحلول إلى النسبة التي لا يمكن استغلالها بعدها فيلق به . وتتميز هذه الطريقة بإمكانية معالجتها للأحجام الناعمة جداً التي لا يمكن معالجتها بطرق أخرى .

٣ - الفصل المغناطيسي : تتميز بعض العناصر بخواصها المغناطيسية ، وبالتالي يستفاد صناعياً بهذه الخواص في عمليات فصل المعادن عندما توجد بها شوائب ليست لها هذه الخاصية . وعليه فإذا تعرضت الحبيبات القابلة للمغنطة لمجال مغناطيسي ، فإنها تنفصل تاركة الشوائب المختلطة بها ، ويجري ذلك بإمرار هذا الخليط على سير ناقل تحت مغناطيس قوى ، حيث تعلق الحبيبات القابلة للمغنطة بالمغناطيس ، وتنفصل عما دونها (شكل ٧) .
ومن المعروف أنه كلما زادت مغناطيسية أحد المواد ، كلما أمكن تأثيرها بمجال مغناطيسي أضعف . وعليه ، فبإضعاف قوة المغناطيس تبعاً من الشمال إلى اليمين (شكل ٨) ، تزيد مغناطيسية الفصل ، وبالتالي يمكن فصل المعادن كل عن الآخر ، وفقاً لخاصيته المغناطيسية ، ويمكن أيضاً باستخدام هذه الطريقة ، فصل الحبيبات غير المغناطيسية حسب أحجامها (أو أوزانها) .

٤ - الفصل الكهربائي : تختلف قدرة المعادن على توصيل التيار الكهربائي ، فمنها جيدة التوصيل ، والأقل جودة ، فالأقل ، وهكذا . وقد استخدمت هذه الخاصية في فصل هذه المعادن بعضها عن بعض ، وذلك بتعريضها لشحنات كهربائية استاتيكية كبيرة ، ثم توصيلها بالأرض عن طريق موصل جيد ، فتكون نتيجة ذلك ، أن المعادن جيدة التوصيل تنفذ

شحنها بسرعة ، بينما تفقدها الأقل جودة بمعدل أقل ، وتحتفظ بها الخامات رديئة التوصيل لفترة أطول . ومعنى هذا أن المعادن الجيدة ، تفقد ارتباطها بالموصل بسرعة عن المعادن رديئة التوصيل ، والتي تظل عالقة بالموصل الكهربائي لمسافة أكبر . وتستخدم هذه الطريقة في فصل مكونات الرمال السوداء المتعددة ، وكذلك في حالة ما إذا كانت حبيبات المعادن المطلوب فصلها متجانسة جميعا ، وطريقتا الفصل المغنطيسى والكهربائى تتطلبان طحن الخامات لأحجام صغيرة جدا ، الأمر الذى يقل معه استخدامها على نطاق صناعى كبير ، نظرا لزيادة التكاليف الرأس مالية .

٥ - **تحميص خامات الحديد :** سبق أن أشرنا إلى أن عملية تركيز الخام تهدف إلى زيادة نسبة الحديد فيه ، وذلك بتخليص الخام بقدر المستطاع من الشوائب العالقة به . وقد تكون هذه الشوائب صلبة أو غازية ، وبناء على ذلك ، تعتبر عملية تحميص كربونات الحديد (السيدريت) لتخليصها من غاز ثان أكسيد الكربون ، من عمليات تركيز الخام . وتتلخص هذه العملية في تسخين هذا النوع من الخام إلى درجة حرارة عالية ، دون درجة حرارة بدء انصهاره (ميوعته) مع السماح للكميات الكبيرة من الهواء بالمرور خلال طبقات الخام ، وقد يستخدم أحيانا هواء لافح . وعندما تصل درجة حرارة الخام إلى درجة الحرارة التى يساوى أو يزيد فيها الضغط الجزئى لغاز ثانى أكسيد الكربون على الضغط المحيط ، يتصاعد الغاز ويتخلص منه وفقا للمعادلة الآتية :

وبعملية حسابية بسيطة ، نجد أنه إذا تعرض خام السيدريت الذى يحوى ٣٥% حديد لعملية التحميص ، وخلص من كل ماله من غاز ثانى أكسيد الكربون ، فإن نسبة الحديد به ترتفع إلى ٤٥% .

وتستخدم عملية التحميص أيضا لخامات بيريت الحديد ، حيث يمكن التخلص من نسبة كبيرة من الكبريت الذى بها .

المصادر الأخرى لمعدن الحديد

بالإضافة إلى المصدر الطبيعي الرئيسى لمعدن الحديد ، وهو خاماته الموجودة في الطبيعة ، فإن هناك مصادر أخرى صناعية تولدت للتطور التكنولوجى الذى صاحب صناعة الحديد والصلب في السنين الأخيرة . ولقد ظهر هذا التطور في صدر العديد من الطرق ، بهدف إمكانية معالجة التباين في خواص وتحاليل الخامات ، ، وحتى يمكن تحقيق الخواص المطلوبة للصلب المنتج . ويلزم للتخلص من الشوائب العديدة تحت ظروف خاصة لتخليص المعدن منها ، إدماجها كمركبات كيميائية في الخبث المنتج . وعليه تتولد مجموعات من الخبث تحوى نسبة عالية من المعدن الذى تسرب إليها مع عمليات فصلها عن باقى حباته . وهذه المصادر وإن كانت لا تصلح بمفردها للاستغلال ، إلا أنه نظراً لخواصها وتركيبها الكيميائى ، تصلح كإضافات إلى شحنات الأفران العالية ، بحيث يمكن استخلاص المعدن منها والاستفادة من باقى مكوناتها . وتتميز غالبية الخبث - موضع الحديث - باحتوائها على نسبة عالية من المنجنيز أو الفسفور ، مع توازنها أو زيادة طفيفة للجير فيها ، وفيما يلى نتعرض لأكثر مجموعات الخبث انتشارا وهى :

(أ) خبث الأفران المفتوحة :

هو خبث مرتفع القاعدية ، ويحوى نسبة عالية من المنجنيز تتراوح ما بين ٩,٥% ، ويحوى كذلك نسبة عالية من المعدن تتراوح ما بين ١٢,١٨% ، وعليه فبالإضافة إلى شحنة الفرن العالى ، وخاصة عند إنتاج أنواع من الزهر عالى المنجنيز ، يمكن الإقلال من إضافة الحجر الجيرى ، وتخفيض ماتبع هذه الإضافة من أثر سلبى على اقتصاديات التشغيل .

(ب) رماد مدخنة المحولات :

وهو خليط من الخبث والحديد ، يتطاير من فوهة المحولات وهى في وضعها الرأسى خلال عمليات النفخ ، ويحوى من ١٠ إلى ٢٠% من الحديد . وفي حالة محولات توماس ، تصل نسبة الفسفور فيه إلى ٧% . ولما كان الرماد ناعماً جداً . فتلزم معالجته في وحدة التليد قبل استخدامه .

(ج) خبث الأفران الغاطسة وأفران التسخين بأقسام الدرفلة :

وهو خبث حامضى يحوى نسبة عالية من السيليكا (٢٠ إلى ٢٨%) ونسبة تتراوح ما بين

٥٠ و ٥٥٪ من المعدن ، ويفضل استخدامه بالأفران العالية أحياناً ، لما له من أثر فعال في إزالة الرواسب التي قد تتكون بالمخروط العلوى بها .
وبالإضافة إلى مجموعات الخبث هذه ، هناك مصدر آخر هو الأكاسيد التي تتولد من خلال عملية درفلة المعدن ، أو خلال عمليات طرقه لتشكيله ، والتي تتكون من ماجنتيت نقى يحوى من ٦٠ الى ٧٠٪ من وزنه من المعدن .

(د) مصادر أخرى :

ومن المصادر الأخرى أيضاً ، المعدن أو أكاسيده المتولدة عن عمليات تحميل كبريتيد الحديد في المصانع الكيميائية لإنتاج حامض الكبريتيك ، والتي يتولد عنها ما يسمى بالبيريت ، وهو يحوى من ٥٥ إلى ٦٠٪ من المعدن . وكذلك ناتج عمليات صناعة الألومنيوم من البوكسيت ، حيث يتبقى في نهاية العمليات الصناعية خليط يحوى ٣٠٪ من الحديد ، ويعتبر من المصادر الأخرى للمعدن ، باقى عمليات استخلاص النحاس من خاماته ، وهى تحوى عادة نسبة عالية من الحديد ، حيث يحوى هذا الباقي حوالى ٥٠٪ منه من الحديد .
ونماز هذه المصادر برخص سعرها بالنسبة إلى الخام ، كما أن استخدامها يمثل طريقة من طرق استغلال نفايات المصانع التى يلزم التخلص منها .

المصهرات

تحوى غالبية خامات الحديد نسبة من الشوائب غير المرغوب فيها ، وتكون هذه حامضية التكوين ، غالباً ، وغير قابلة أو صعبة الإسالة فى درجات الحرارة السائدة فى الفرن العالى ، كما يتضح من الجدول التالى :

المادة	نقطة الانصهار	المادة	نقطة الانصهار
الألومينا	٢٠٥٠ °م	الجير	٢٦٧٠ °م
الماجنتيزيا	٢٨٠٠ °م	السيليكا	١٧١٠ °م

كما يحوى الكوك رمادا به نسبة عالية من السيليكا، بالإضافة إلى الكبريت، العدو الأول للحديد. ويعتبر الكوك أهم مصادره بشحنة الفرن العالى.

وللتخلص من هذه الشوائب جميعاً، تضاف المصهرات، التى يمكن تعريفها بأنها المواد التى ترتبط مع الشوائب صعبة السيولة أو غير المرغوب فيها، ومع الكبريت، ومع رماد الفحم، مولدة مركبات كيميائية سهلة الإزالة بالأفران العالية. وينتج عن هذا الارتباط تكون مركب كيميائى جديد، هو خليط من السيليكا والألومينا والجير وأكاسيد المنجنيز، ويسمى «الخبث»، الذى يتميز بقدرته الكبيرة على الاتحاد بالكبريت، وبالتالي الإقلال من الكبريت الطليق القابل للاتحاد بالمعدن.

وأهم هذه المصهرات، (مساعداً الصهر)، الحجر الجيرى، والدولوميت، والطباشير الفوسفورى.

(١) الحجر الجيرى:

يوجد الحجر الجيرى لحسن الحظ فى مناطق عديدة، وتعدد أسماؤه حسب ظروف تكوينه، ومصدره، وحسب مظهره وملامسه، وحسب مكوناته الأساسية. فثلاً يقال حجر جيرى رملى، أو حجر جيرى صينى، أو حجر جيرى حديدى، أو حجر جيرى حبيبي، الخ.

ومن الطبيعى، أن تقيم صلاحية الحجر الجيرى للعمليات الميتالورجية، يعتمد أساساً على نسبة الجير المتبقية بعد خصم الكمية اللازمة لموازنة الشوائب (عادة السيليكا) الموجودة به. وتضيف هذه الشوائب عبئاً على العمليات الميتالورجية، حيث أنها تسبب فى زيادة كمية الخبث الناتج، وبالتالي تسبب زيادة استهلاك الوقود، وتقلل من كفاءة شحنة الفرن وإنتاجيته. ومن أهم شوائب الحجر الجيرى، بالإضافة إلى السيليكا، الكبريت، والفوسفور. لذلك يجب ألا يحوى الحجر الجيرى فى العمليات الميتالورجية أكثر من ٠,١% من وزنه من أى منها، ولو أن زيادة الفسفور فى حالة إنتاج زهر توماس مرغوب فيها.

ويعالج الحجر الجيرى الناتج من المناجم فى الكسارات، للحصول على الأحجام المناسبة للشحن فى الفرن العالى، والتى يجب ألا يتعدى حجمها ٧٠ مم. وتنتج عن ذلك كميات من النواعم غير المناسبة، تستخدم فى عمليات التليد والتكوير.

(ب) الدولوميت :

ترجع أهمية استخدام الدولوميت كمساعد صهر، إلى أن للماغتريا مقدرة كبيرة على الاتحاد بالسيليكات، فيتحد كل كجم منها مع ١,٥١ كجم من السيليكات، بينما يتحد كل كجم من الجير مع ١,٠٨ كجم منها فقط. هذا بالإضافة إلى ما أثبتته الأبحاث الحديثة، من أن قدرة الماغتريا على انتزاع الكبريت، وتخليص المعدن منه، أكبر من قدرة الجير. ولكن، نظراً لتأثير الماغتريا على سيولة الخبث، فقد حد ذلك من استخدام الدولوميت بكمية كبيرة في شحنات الأفران العالية، حيث أن الماغتريا تسبب الإقلال من سيولة الخبث إذا كان وجودها فيه بنسب قليلة. بينما تزيد سيولة الخبث إذا وجدت بنسبة تزيد على ٥ إلى ٦٪. ولهذا يفضل وجودها بالأفران العالية بهذه النسبة المرتفعة، إلا إذا كان في زيادة نسبتها تأثير ضار على استعمالات الخبث المنتج.

(ج) الطباشير الفسفوري :

تعتبر من الإضافات التي تفضل في حالة الرغبة في الحصول على حديد زهر توماس. ويعتبر فوسفات الجزائر من أجود هذه الأصناف. ويحوى هذا الخام نسبة من الجير تعادل ٤٠٪ ونسبة من الفسفور تعادل حوالى ٤٪.

الرمل : يستخدم الرمل كإضافة مع الخامات والشحنات التي تزيد فيها نسبة الجير إلى السيليكات على النسبة المقبولة للأفران (١,٢ - ١,٢٥)، وذلك لموازنة الخبث الناتج، حيث أن الخبث على القاعدة، يحتاج إلى كميات إضافية من الوقود لإسالته.

الوقود المستخدم بالأفران العالية

إن أهم أنواع الوقود المستخدمة في صناعة الحديد والصلب عامة، هي الكوك، والمازوت، وغاز الأفران العالية، والغازات الطبيعية، وغازات الكوك. وعموماً يعتبر الكوك المصدر الرئيس للطاقة الحرارية بالأفران العالية، غير أن العديد من الوحدات المساعدة كمسخنات الهواء والغلايات، تستخدم هذه الغازات أو المازوت كمصادر لإعداد الطاقة الحرارية اللازمة لها.

ونستعرض فيما يلي مصادر هذه الأنواع وخواصها في صورة سريعة، الهدف منها التوضيح المبسط دون الدخول في التفاصيل.

١ - فحم الكوك : ينتج فحم الكوك من عمليات تسخين الفحم الحجري (تسمى أحياناً عملية الكربنة أو التكوين) ، بمزول عن الهواء ، فتتصاعد المكونات المتطايرة ، ويتخلف باق عام هو الكوك . وتجري هذه العملية في أفران خاصة (الشكل ٢١) اكتشفت بألمانيا بمصانع كوبرز عام ١٨٩٩ أبعادها ١٢ × ٠,٤ × ٤ أمتار ، تبنى في مجموعات متتالية تكون ما يسمى « بطارية إنتاج الكوك » . ويفصل كل فرن عن الآخر ، غرفة الاحتراق التي يجري فيها احتراق غازات الأفران العالية أو غاز الكوك ، في مسارات متعرجة داخل الغرفة ، مما ينتج عنه تسخين الطوب الحراري لجدران الغرفة ، إما بالتلامس المباشر ، وإما بالإشعاع ، كذلك ترتفع درجة حرارة الجدران الفاصلة بين الغرف المملوءة بالفحم الحجري ، وتتم نتيجة لهذا عملية تقطيره .

ولما كان من الضروري الحصول على الكوك متجانس التكوين ، فإنه يلزم إجراء عمليات طحن وخلط للفحم ، بحيث تتجانس شحنات أفران التكوين . وبالتالي تختار خلطة الفحم المستخدمة للتكوين من الفحم الحيواني عالي المواد المتطايرة ، الذي يمتاز بأنه يتضخم ببطء ، وينتج عائداً أقل ، ومن الفحم منخفض المواد المتطايرة الذي يتضخم بشدة ، ويعطى عائداً أكبر . وفائدة هذا الخليط ، أنه لا يعرض جدران الأفران لضغوط عالية ، قد تسبب تدهمها ، كما أنه يحقق إنتاجاً كبيراً .

وحيث أن تسخين غرف الاحتراق يخضع لمراقبة دقيقة ، فإن ناتج عملية التقطير الرئيسي وهو الكوك ، لابد أن يكون متجانساً . ونلخص عمليات التكوين فيما يلي :

١ - ينقل الفحم الناعم بسبور خاصة إلى برج الفحم ، أي مكان تخزينه الموجود أعلى بطارية الكوك . ويسحب منه بواسطة « عربة الشحن » التي تتحرك على مسار خاص فوق سطح البطارية .

٢ - تضبط عربة الشحن فوق الغرف المراد شحنها . وبواسطة أجهزة خاصة موجودة بالعربة ، يزال غطاء الغرف ، فيساقط الفحم الحجري إلى داخلها ، ثم يفلق الباب ثانية بواسطة قضيب متحرك يوجد في آلة الرفع ، ويسوى سطح الشحنة داخل الفرن .

٣ - يترك الفحم داخل الغرف ، معرضاً للحرارة الناتجة عن ارتفاع حرارة طوب جوانب الفرن ، حتى تتم عملية التقطير الإلتافي ، ويمكن معرفة ذلك عن طريق أجهزة تحليل الغازات الناتجة والتحكم فيها ، ويستغرق ذلك فترة تتراوح ما بين ١٤ و ١٨ ساعة .

- ٤ - عند انتهاء عملية التكوين ، يفتح الباب الجانبي بواسطة عربة الفتح ، وتدفع شحنة الفرن عن طريق آلة الرفع المثبتة في الجانب الآخر من الفرن ، وتخرج شحنة الفرن على هيئة قالب ملتهب ، لتستقبلها « عربة التفريغ » التي تنقلها مباشرة إلى « برج تبريد الكوك » حيث ترش بكمية محسوبة من الماء لتبريد الكوك بسرعة ، حتى لا يحترق في الجو .
- ٥ - ينقل الكوك بعد ذلك إلى « منحدرات الكوك » حيث يسحب منها عن طريق بوابات خاصة إلى سير ناقل ، ومنه إلى عمليات النخل ، حيث تفصل الأحجام الصغيرة ، ثم تصدر الأحجام الكبيرة (فوق ٤٠ مم) إلى الأفران العالية .

أهم خواص الكوك الميتالورجى :

يتميز الكوك اللازم لعمليات إنتاج الحديد الزهر ، وللعمليات الميتالورجية عامة ، بمجموعة من الخواص الفيزيائية والكيميائية التي تتناسب وطبيعة العمليات المستخدمة فيها . وتعتمد هذه الخواص إلى حد كبير ، على نوع الفحم المستخدم ، وزمن تكويكه ، ودرجة الحرارة المستخدمة ، وحجم ونوع الفرن المستخدم . ونلخص فيما يلى هذه الخواص :

(أ) الخواص الفيزيائية :

- ١ - أن يكون حجمه كبيراً (من ٤٠ إلى ١٢٠ مم) .
- ٢ - أن لا يحتوى على كوك ناعم .
- ٣ - أن تكون مقاومته للاحتكاك كبيرة ، وذلك حتى لا يتفتت عند احتكاك بعضه ببعض .
- ٤ - أن يكون قادراً على تحمل الضغط ، وخاصة في درجات الحرارة العالية .
- ٥ - أن يكون صلباً محدود المسامية ، حتى لا يحترق بسهولة وسرعة .
- ٦ - أن تكون درجة حرارة بدء انصهاره عالية .

(ب) الخواص الكيميائية :

- ١ - أن تكون نسبة الكبريت فيه أقل ما يمكن ، ذلك لأنه المصدر الأول للكبريت في شحنة الأفران العالية (عادة أقل من ١,٢ %) .
- ٢ - أن تكون نسبة الرماد فيه أقل ما يمكن (عادة أقل من ١١ %) . وقد لوحظ أن خفض كمية الرماد من ١٧ % إلى ٣,٥ % يتولد عنه خفض ١٠ % في حجم إنتاج الخبث ، مصحوباً بـ خفض في كمية الكوك المستخدمة ، بما يعادل ٤ % من الكمية الأصلية ، مع زيادة إنتاج الحديد الزهر بما يعادل ٤ % .

٣ - أن لاتتعدى نسبة الرطوبة به ٥% بأى حال .

٤ - أن تكون نسبة الكربون الثابتة فيه أعظم ما يمكن (على الأقل ٧٨%) .
وللأهمية الخاصة للكوك ، يخضع المنتج للعديد من الاختبارات الكيميائية لتحديد نسب الكبريت ، والرماد والرطوبة ، والكربون الثابت ، والمواد المتطايرة . كما يخضع للعديد من التجارب ، لاختيار الخواص الفيزيائية التى تحدد قدرته على تحمل الضغط ، وكذلك تحدد مقاومته للتصادم ، وصلابته ، وتماسكه ، ويتم ذلك فى سلسلة من الاختبارات المتفق عليها دولياً ، لتحديد مدى مطابقته للمواصفات المذكورة .

٢ - غاز الكوك :

تتولد عن عمليات التقطير الإتلافي (أو التكوين أو الكربنة) للفحم الحجري فى بطاريات الكوك ، كميات هائلة من غاز الكوك الخام ، والتى تتراوح بين ٣٠٠ و ٣٥٠ م^٣ لكل طن من الفحم الحجري المستخدم . ويتكون الغاز الخام من بخار الماء ، بالإضافة إلى غاز الهيدروجين ، والأوكسيجين ، والنيتروجين وأول وثانى أكسيد الكربون ، مع نسب بسيطة من الميثان والبنزول ، بجانب العديد من المواد الأخرى . وينتج غاز الكوك الخام ، بتخليصه من الرطوبة والبنزول وكبريتيد الهيدروجين ، ونحصل بذلك على غاز الكوك النقي الذى تبلغ سعته الحرارية من ٣٨٠٠ إلى ٤٠٠٠ كيلو كالورى لكل متر مكعب .

ويستخدم غاز الكوك فى الأغراض الصناعية التى تلزم فيها قيمة حرارية عالية ، علاوة على استخداماته فى صناعة الصلب ، وفى الأفران المفتوحة ، وفى مسخّنات هواء الأفران العالية ، وفى أفران التسخين بأقسام التشكيل ، وفى تسخين أفران بطاريات الكوك أحياناً إذا كانت فى مكان لا يوجد فيه غاز الأفران العالية . كذلك يمكن استخدامه فى الأغراض التى يستخدم فيها غاز الاستصباح ، وهو يعادله تقريباً فى تركيبه وخواصه .

٣ - غاز الأفران العالية :

وهو أحد المنتجات الجانبية لعملية إنتاج الحديد الزهر من الأفران العالية . وهو عبارة عن خليط من غازات قابلة للاشتعال ، مثل أول أكسيد الكربون ، والهيدروجين والميثان ، وغازات غير قابلة للاشتعال مثل النيتروجين ، وثانى أكسيد الكربون .
ويحتوى الغاز الخام على كميات من نواعم المشحونات التى تشحن فى الفرن بكمية كبيرة

تتراوح ما بين ١٠ إلى ٢٠ كجم لكل م^٣. وبتنقيته منها، نحصل على غاز الأفران العالية النقى بتحليل متوسط كالآتي :

نروجين	%٥٧
ثنائي أكسيد الكربون	%٣٠
أول أكسيد الكربون	١٠ إلى ١٢%
هيدروجين	٢ إلى ٣%
ميثان	آثار بسيطة

ومن التحليل، يتضح أن الغاز يحوى نسبة عالية من المكونات غير القابلة للاشتعال، مما يؤدي إلى الإقلال من قيمته الحرارية، حيث تبلغ سعته الحرارية من ٨٠٠ إلى ١٠٠٠ كيلو كالورى/م^٣ من الغاز. ولكن وبمعرفة أن كل طن من الكوك المستخدم فى الفرن العالى ينتج من ٣٨٠٠ إلى ٤٠٠٠ م^٣ الغاز، نجد أن الفرن الذى يستهلك ٦٠٠٠ طن من الكوك يومياً، ينتج ٢٣,٤ مليون م^٣ من الغاز تحوى تقريباً ٢ × ١٠^٦ كيلو كالورى، ويتضح أن غاز الأفران العالية، مصدر كبير من مصادر الطاقة الحرارية التى يجب استغلالها.

ويستغل غاز الأفران العالية فى تسخين مسخنات الهواء، وفى مصانع الكوك، وفى أفران التسخين بوحدات الدرفلة والمعالجة الحرارية، كما يمكن استخدامه فى الغلايات للحصول على البخار اللازم للعمليات الميتالورجية، وكذلك فى تشغيل التوربينات لتوليد الطاقة الكهربائية، ومما سبق يتضح أن غاز الأفران العالية مصدر هام من مصادر الطاقة التى يجب استغلالها استغلالاً كاملاً، فتتخفض بالتالى تكلفة الإنتاج.

ونورد كمثال، كيفية استغلال غاز الأفران العالية المنتج فى مصانع الحديد والصلب بملوان، وهو كما يلى :

- لعمليات الأفران العالية	٣٠ إلى ٣٥%
- لباقي وحدات المصانع	٢٠ إلى ٢٥%
- لتوليد الكهرباء بمحطة كهرباء التبين	٣٠ إلى ٣٣%
- فاقد الغاز خلال عمليات النفخ	١٠%
- كميات لا يستفاد منها وتحترق	إلى ١٠% (وهى نسبة عالية)

٤ - الغازات الطبيعية :

وهى خليط من الغازات يكون الميثان غالبيتها، ومصدرها حقول البترول أو حقول

الغازات الطبيعية ، وتنقل الغازات إلى المصانع خلال شبكات من المواسير . وهي تكون احتياطات يمكن استغلالها متى اتاحت الفرصة لإحلالها محل جزء من الكوك المستخدم في العمليات الميتالورجية ، وخاصة عمليات التسخين والاختزال .

٥ - المازوت :

وهو أحد منتجات عمليات تقطير البترول الخام . ويستخدم في تسخين الفلايات وأفران التسخين بأنواعها ، حيث يخلط مع غاز الأفران العالية أو الكوك . كما يستخدم حديثاً في الأفران العالية لإحلال جزء من الكوك المستخدم ، وتبلغ سعته الحرارية ٧٢٠٠ كيلو/طن .

الباب الثاني

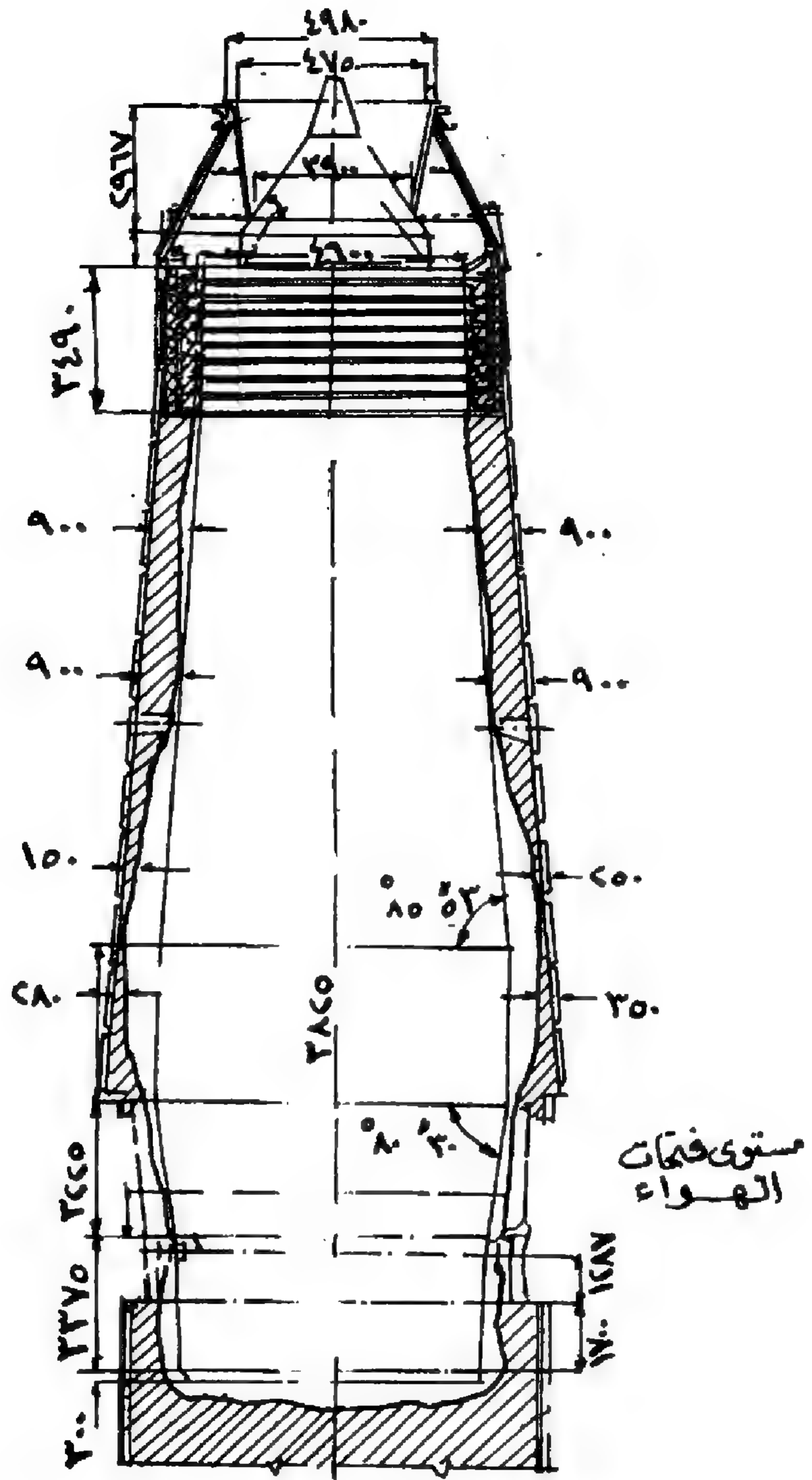
وصف الفرن العالى

يجب أن يحقق تصميم الفرن العالى بأجزائه المختلفة ، القيام بأداء وظيفته الأساسية ،
والتي تتلخص فى استغلال مكونات شحنة الفرن من الخام ، والحجر الجيرى أو الدولوميت ،
وفحم الكوك ، والإضافات الحديدية ، علاوة على الهواء اللافع الداخلى من قرب نهايتها
السفلى فى إنتاج الحديد الزهر والخبث اللذين يسحبان من فتحات خاصة فى الجزء الأسفل
للفرن ، بالإضافة إلى غاز الأفران وأتربة الغازات التى تتصاعد من أعلاه .

وتتعرض المشحونات خلال هبوطها بالفرن الى العديد من التغيرات الكيميائية
والفيزيائية ، فترتفع درجة حرارتها ويزداد حجمها فى الجزء العلوى من الفرن ، لتعود مرة
أخرى فى قرب نهاية رحلتها داخله الى الانكماش نتيجة انصهارها . لذلك كان من اللازم أن
يكون شكل الفرن (بروفيله) بالكيفية التى تسمح بإتمام هذه العمليات على الوجه الأكمل .

ويتكون الفرن فى شكله العام ، من مخروطين ناقصين يتلاقيان بقاعدتيهما الكبيرتين ،
يسميان « المخروط العلوى » و « المخروط السفلى » ، تبعاً لوضعها بالفرن . وينتهى المخروط
السفلى بقاعدته الصغيرة فى المكان الذى يتجمع فيه ناتج إنصهار المشحونات بأسفل
الفرن ، والذى يسمى « بودقة الصهر » . والأفران العالية تعتبر من الوحدات الإنتاجية
المستمرة التى لا يجوز إرباكها أو إعاقتها . ويعنى ذلك استمرار شحن الخامات ، وخروج
الغازات وما تحمله من أتربة من أعلى الفرن ، وسحب الخبث والحديد على فترات زمنية
منتظمة من أسفله . وما يزيد من صعوبة التشغيل ، وبالتالي مما يحتم ضرورة التحكم
الدقيق فيه ، أن العملية مغلقة ، حيث لا يمكن أن يشاهد بالعين ما يتم فى مراحلها المتوسطة .
وعليه يجب أن يجهز الفرن العالى بالعديد من أجهزة القياس والتحكم ، التى يمكن عن
طريقها تتبع الخطوات المختلفة فى مراحل التشغيل .

وبالإضافة الى ما سبق ، فإن طبيعة العمل تقتضى أن يتعامل الفرن مع كميات ضخمة من
المشحونات ومن المنتجات . ويكفى أن نعلم أن الطن الواحد من الحديد الزهر المنتج ، يحتاج
فى المتوسط العادى إلى ٢ طن من الخام ، ٠.٧ طن من الحجر الجيرى ، ١ طن من الفحم ،
٤ أطنان من الهواء اللافع . ويتبع ذلك إنتاج ٦ أطنان من الغازات ، و ٧.٠ طن من



شكل ٩ - بوقيل الفرنج بمصانع
ماجنيتوجورسك الروسية بعد التشغيل

الخبث ، و ٨٠ كجم من تراب الغازات ، وعليه ، نجد أن الفرن سعة ٢٠٠٠ طن يومياً (متوسط سعة الأفران حالياً) يتعامل مع ٤٠٠٠ طن من الخام و ١٤٠٠ طن من الحجر الجيري ، و ٢٠٠٠ طن من الفحم ، و ٦ ملايين متر مكعب من الهواء . وينتج ٩ ملايين متر مكعب من الغازات ، و ٢٠٠٠ طن من المعدن ، و ١٤٠٠ طن من الخبث ، و ١٦٠ طناً من تراب الغازات . ولما كان متوسط استهلاك المياه لكل طن واحد من الحديد المنتج يعادل ٦٠٠٠ جالون ، نجد أن كمية المياه اللازمة يومياً تعادل ١٢ مليون جالون من الماء ، وهي تعادل استهلاك مدينة سكنية كبيرة .

وبجانب كل ذلك فإن بقية الوحدات المساعدة للفرن ، كأحواش تشوين الخامات ، وعنابر معالجة الخبث ، ومسخّنات الهواء ، وصلات الصب الإضافية ، ووحدات نفخ الهواء ، والورش الميكانيكية والكهربائية ، والمخازن اللازمة ، تشكل احتياجات كبيرة في المكان ، وتحتاج الى مساحات شاسعة ، مع حتمية توافر الترابط الداخلى فيما بينها .

(شكل ٩)

ولقد مر القرن العالى بشكله الحالى المعروف لنا - بمراحل متعددة ، تطور خلالها ، وتعرض كل مقاس به الى التغيير نتيجة للعديد من التجارب والأبحاث ، حتى وصل الى شكله الحالى ، بارتفاع يصل ٣٠ - ٣٥ متراً ، يتكون من مناطق عديدة ، أجرى تقسيمه إليها وأخذت كل منها شكلها الهندسى الفريد لتلائم مع التغيرات الفيزيائية والكيميائية التى تتعرض لها الشحنة فى كل منها . وتتوالى هذه المناطق ، من أسفل الفرن حيث القاعدة الضخمة التى يرسو عليها إلى أعلاه حيث تخرج الغازات ، وحيث تشحن المشحونات ، حسب الترتيب التالى :

١ - القاعدة والأساسات .

٢ - بودقة الصهر .

٣ - المخروط السفلى .

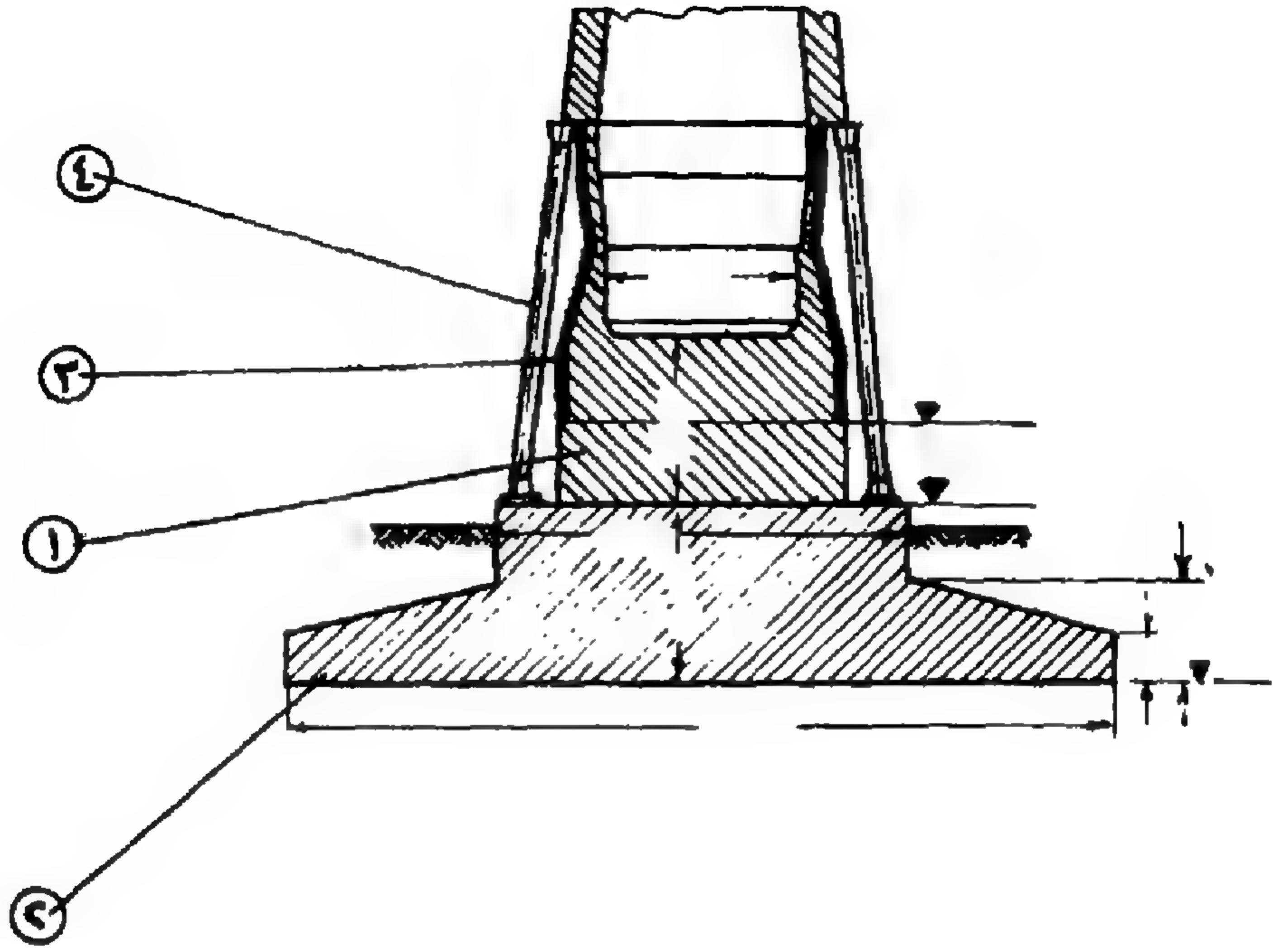
٤ - الأسطوانة أو البرميل .

٥ - المخروط العلوى .

٦ - الحلق أو الزور .

٧ - قبة الفرن .

وفى بل وصف مبسط لكل منها :



الشكل ١٠ - قاعدة الفرن العالي

١ - قاعدة الفرن : (الشكل ١٠) :

تحمّل قاعدة الفرن (الأساسات) بأحمال ضخمة تحت ظروف التشغيل وما يستتبعها من ارتفاع في درجات الحرارة ، وخاصة في السنوات الأخيرة من عمر البطانة الحرارية بمنطقة الصهر عندما يقترب الحديد السائل المحترق لأماكن تآكل هذه البطانة ، من الأساسات . ويصل مجموع هذه الأحمال في الأفران الحديثة الى مايزيد على ٢٥٠٠٠ طن وحيث أن أي هبوط في أحد جوانب هذه القاعدة ، يعرض الفرن وجسر الشحن وتوصيلات الغازات إلى مخاطر جسيمة ، لذلك يلزم أن تكون الأساسات قوية التحمل ، تحت كل هذه الظروف . ولهذا فعند إنشاء فرن عالٍ جديد ، يبدأ في اختبارات تحمل الأرض ويراعى ألا يقل تحملها عن ١٠ كجم لكل سم^٢ مربع . ثم تصب مجموعات من الخوازيق ، يصل تعدادها إلى ٣٠٠ . تعلوها قاعدة من الخرسانة القوية التسليح الشكل (١٠) ، من الأسمتت المقاوم للحرارة ، بقطر ٢٠ إلى ٢٥ متراً ، وبارتفاع ٥ إلى ٧ أمتار . وهذه القاعدة يبنى عليها الطوب الحراري الذي تعلوها في طبقات يصل ارتفاعها إلى ٥ أو ٦ أمتار ، وترص قوالب الطوب بحيث تتعارض أماكن التحامها ، حتى يصبح كل منها سداً أمام أي حديد سائل قد يتسرب من الطبقات التي تعلوها .

ونظراً إلى ما يتعرض له هذه الطبقات من درجات الحرارة العالية ، خاصة في نهاية عمر البطانة الحرارية بمنطقة الصهر - كما ذكر آنفاً - فإن العديد من مصانع الحديد في العالم يلجأ الى تبريدها صناعياً ، عن طريق نفخ هواء بارد في مواسير خاصة مصممة لهذا الغرض ، وأحياناً تستبدل بهذه مواسير تحمل المياه . وبالإضافة إلى ذلك تقاس درجة حرارة البطانة في أماكن متفرقة ، وتتابع ، لمعرفة التغيرات التي تطرأ عليها . كما تستخدم المواد المشعة لنفس الغرض ، بحيث أنه إذا تآكل الجسم المشع ، وبالتالي توقف عن الإشعاع ، يعتبر ذلك دليلاً على تآكل البطانة إلى المسافة التي وضع بها وهذا يمكن متابعة تآكل البطانة انظر شكل .

٢ - بودقة الصهر :

وهو المكان الذي يتجمع فيه الحديد والخبث المنصهران ، ويعتبر أهم جزء بالفرن العالي . وتوجد به فتحة صب الحديد ، وفتحة الخبث ، وفتحات نفخ الهواء اللافيح ، وهو في شكله العام أسطوانة يبلغ قطرها من ٥ إلى ١٤ متراً ، وارتفاعها ٣ - ٤ أمتار ،

يبطئها أجود أنواع الطوب الحرارى أو الكربونى ، الذى يميل عن الرأس فى اتجاه صاج الفرن كلما بعدنا عن فتحة الحديد ، وذلك حتى تتمكن جوانب البودقة من مقاومة قوى الضغط للمعدن والخبث السائلين . وتكلف هذه البطانة ألواح من الصاج السميك (٦٠ مم) مكونة الشكل ، الخارجى للبودقة . وأبعاد هذا الجزء من الفرن ، هى التى تحدد إنتاجه اليومى .

وتتميز الأفران الحديثة عموماً بكبر أبعاد قطر بودقة الصهر فيها ، التى لم يتغير ارتفاعها كثيراً حيث أن قيمته تحددها الاحتياجات الحرارية اللازمة لحفظ الخبث والحديد فى درجات الحرارة اللازمة لسيولتها ، وبالتالي فإنها تحدد أبعاد فتحات خروجها من مستوى أعلى درجات الحرارة بالفرن وهو مستوى الودنات (فتحات نفخ الهواء اللافح) .

ويتدرج سمك الطوب المبطن لجوانب البودقة من ١,٥ متر بأسفلها ، إلى متر واحد عند أعلاها ، بزاوية ميل ٤٥ درجة مئوية الى الخارج . وفى حالة استخدام الطوب الكربونى ، يتراوح سمك القاعدة ما بين ١,٥ الى ٢,٥ متراً . وقد تأخذ مباني الجوانب فى أسفلها شكلاً بارزاً (حوالى ٥ إلى ٦ صفوف من الطوب الحرارى تميل بزاوية ٣٠ درجة مئوية تعلو القاعدة مباشرة) ، كما قد تبنى القاعدة أحياناً بشكل قوس مقعر ، وذلك للتغلب على الظاهرة المعروفة باسم « طفو الطوب الحرارى » . وهذه الظاهرة تحدث نتيجة لضغط المعدن السائل على الطوب الحرارى ، الأمر الذى ينجم عنه تخلخل الطوب وطفوه على سطح المعدن (خاصة الطوب الكربونى) ، غير أن هذا الاتجاه قل حديثاً .

وتتبع الخطورة التى تشكلها بودقة الصهر على الأفران العالية وعلى العاملين بها ، من احتمال حدوث الظاهرة المعروفة باسم « تصدع بودقة الصهر » وهى اختراق الحديد لمباني بودقة الصهر والصاج المغلف لها - سنتعرض لذلك فيما بعد - والتى يحتاج إصلاحها الى وقت طويل وجهد شاق يقلل من إنتاج الفرن ويتكلف الكثير .

ولا تعتبر تلك الظاهرة هى منبع الخطورة الوحيد بالمنطقة . فهناك العواقب الخطيرة التى تنجم عن تسرب المياه من مبردات فتحات نفخ الهواء ، أو الخبث ، أو مبردات الطوب الحرارى للمنطقة ، والتى قد ينجم عنها الظاهرة المسماة « تجمد بودقة الصهر » التى تتلخص فى تجمد المصهور من الخبث والمعدن وعدم خروجها من الفرن ، وما يستلزمه ذلك من توقف الفرن للإصلاح . ولقد تسببت هذه الظاهرة فى توقف العديد من الأفران العالية نهائياً عن العمل ، فى مصانع عديدة .

ولتبريد بطانة بودقة الصهر طرق تختلف من تصميم إلى آخر غير أنه يمكن حصر أهمها في الطريقتين التاليتين :

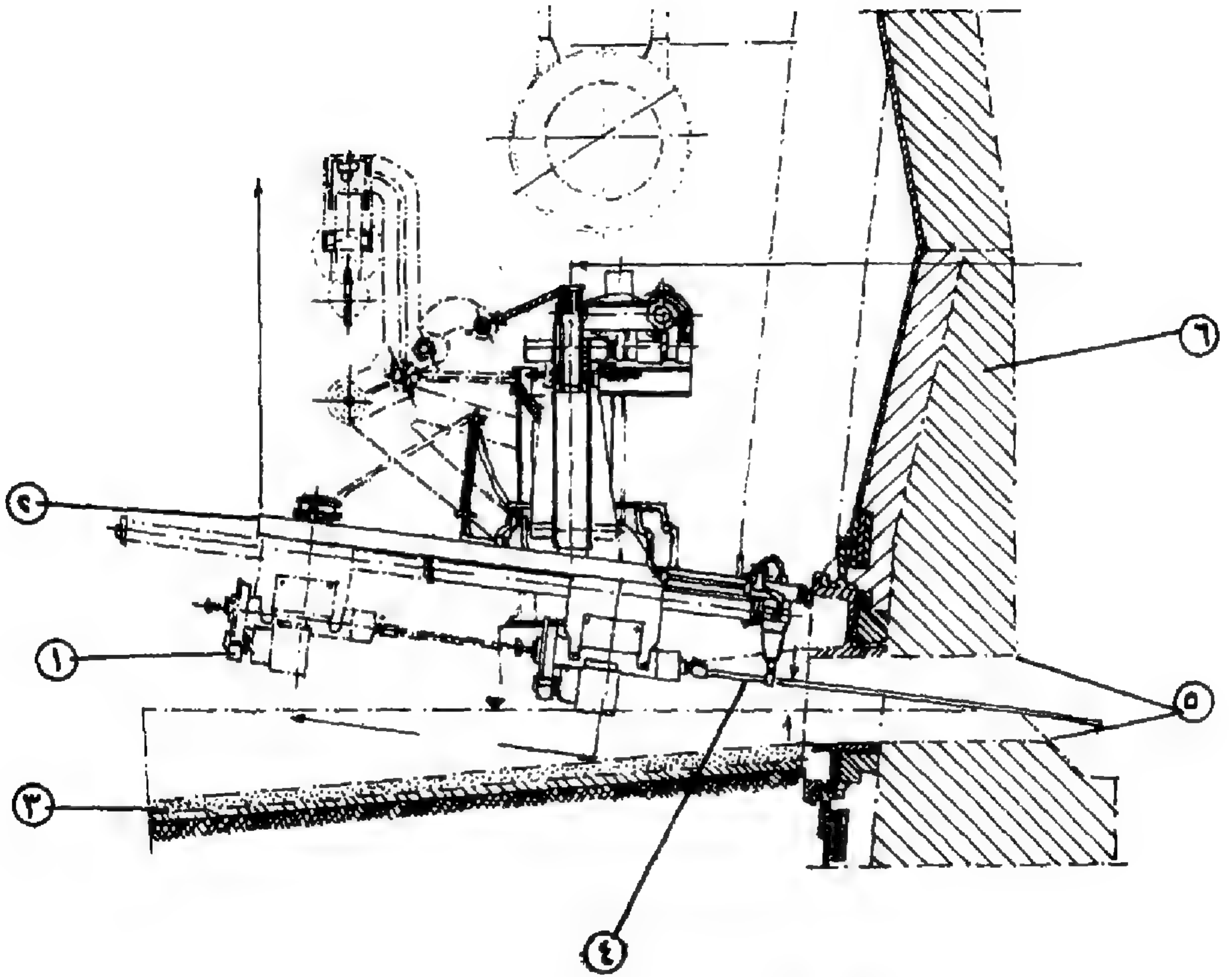
الأولى : باستخدام تبريد خارجي للصاج المغلف ، وذلك باستخدام أدشاش مياه خاصة .
الثانية : باستخدام المبردات ذات التصميم الخاص ، والتي توضع في داخل الطوب .
وتتجمع مياه تبريد الفرن في أسفله ، وتوجه عن طريق مجار خاصة لتصب في بيارة مجمعة ، مغطاة بشبكة من الأسياخ ، تحجز فوقها أى أجسام كبيرة ومنها إلى شبكة مياه راجع التشغيل للمصانع . ويستخدم عادة في الأفران الصغيرة ، الزنك في أول المجرى ، حيث يوضع كوسيلة لتأمين شبكة مياه راجع المصانع في حالات سقوط أى حديد سائل في بدروم الفرن ، عند انهيار بودقة الصهر مثلاً . حيث يتسبب الحديد المتساقط في تآكل الزنك ، وبالتالي فإنه يسقط في صالة الصب الخاصة بجانب الفرن ولا يتسرب إلى شبكة مياه المصانع .

وتزود بودقة الصهر بمجموعات من الإزدواجات الحرارية ، توضع على أقطار متباينة ، وبأعماق مختلفة داخل الطوب الحراري . ويمكن عن طريق متابعة قراءتها الحكم على معدل وسرعة تآكل البطانة المغلفة ، وبالتالي فهي تمكن من الحكم على حالة البودقة والتوقعات المنتظرة قبل حدوثها بوقت كاف . وقد تستخدم النظائر المشعة لنفس الغرض .
فتحة الحديد :

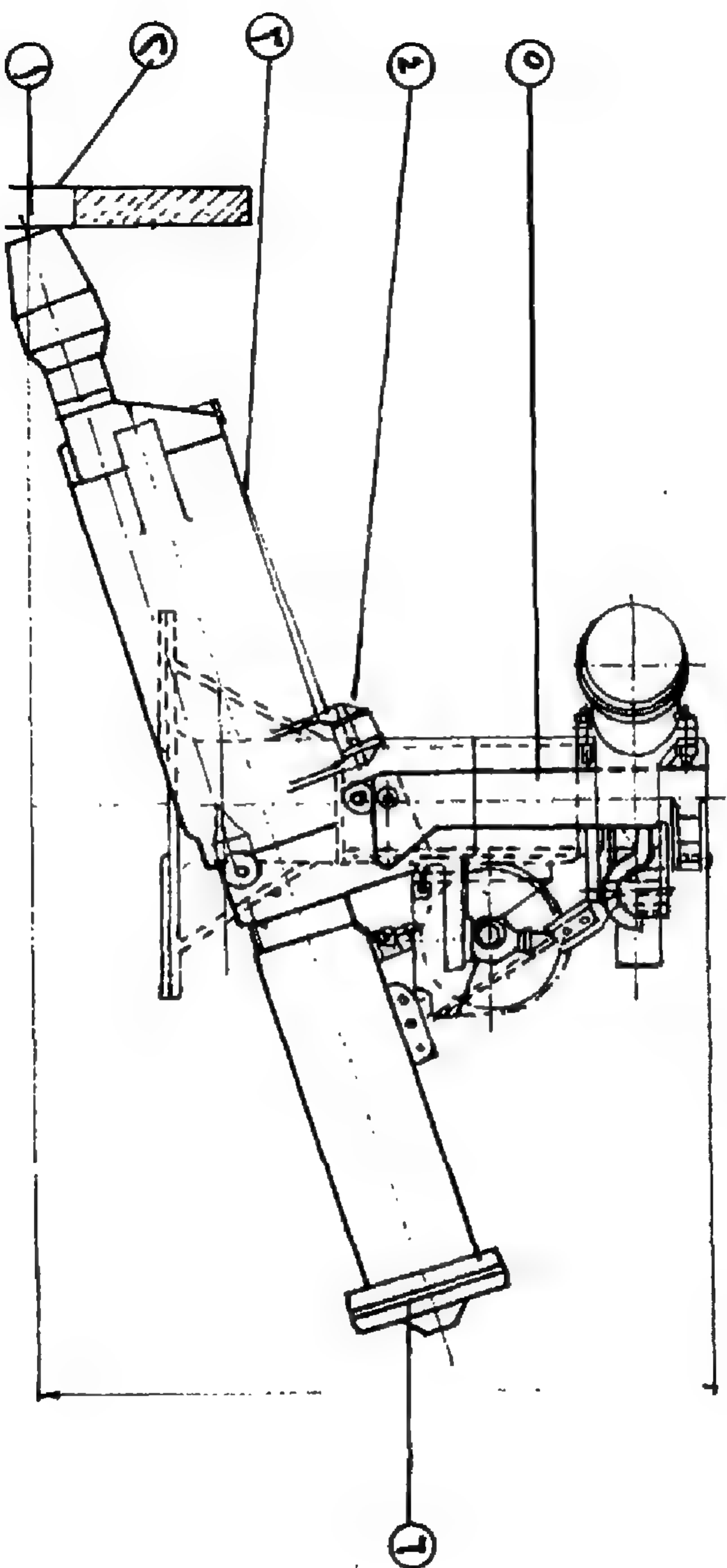
توجد في أحد جوانب بودقة الصهر منطقة أبعادها حوالي ٩٠ × ٦٠ سم تترك بدون تغليف بالصاج ، يبطن الفرن فيها بطوب الشاموت الحراري . وتوجد في منتصف هذه المنطقة ، وعلى ارتفاع حوالي ٢٠ سم عن قاع الفرن ، فتحة بقطر من ١٠ إلى ٢٥ سم ، تخترق الطوب الحراري إلى داخل الفرن . وهذه الفتحة هي الموضع الذي ينساب منه المعدن وبعض الخبث عند صب الفرن وتسمى « فتحة الحديد » وهي تغلق عادة بطينة حرارية ذات مواصفات خاصة تدفع بداخل الفرن خلال مكنة « غلق الفرن » (المدفع) ، انظر الشكل (١١ أ ، ب) ، ويعاد فتحها مرة أخرى كلما حان موعد صب الفرن .

والأسلوب الفني للمحافظة على سلامة هذه الفتحة متماسكة وبطول محدود (يساوي ١,٨ م للأفران ذوات الأقطار الأكبر من ٥ أمتار ، وحوالي ١,٥ م للأفران ذوات الأقطار الأقل من ٥ أمتار) يعتبر من أهم واجبات العاملين بالفرن . ويشكل الإتصال بين فتحة

الحديد وداخل الفرن بطوب شاموت محفور في أحد جوانبه بحيث تشكل كل ٤ قوالب منها عند وضعها بعضها فوق وبعوار بعض ، فتحة مستديرة يميل محورها على الأفق بزاوية ميل قدرها ١٥ درجة مئوية الى ٢٥° تقريباً (حسب عمر بطانة بودقة الصهر) ، وذلك حتى



شكل ١١ - مكنة الفتح الكهربائية



شكل رقم ١١ ب - مكنة إغلاق فنتحة الحديد

يمكن بسهولة ضبط ميل « مكنة الفتح » التي تستخدم في فتح الفرن ، ولسلامة الفتحة ينحتم دائماً ضبط زاوية الميل لمكنة الفتح هذه بنفس المقدار في كل مرة يفتح فيها الفرن لصبه ، وذلك حتى تظل جوانب الفتحة الى داخل الفرن متماسكة وقوية .

ويمكن بناء منطقة فتحة الحديد بالطوب الكربوني ، حتى تتجانس البطانة الداخلية لبودقة الصهر في كل أجزائها ، غير أن ذلك يتطلب تبريداً خاصاً لهذا الطوب ، وكثيراً ما تتعرض المبردات المستخدمة لأضرار نتيجة الحرارة التي تتعرض لها عند صب الحديد والخبت ، خاصة وأن عملية الصب متكررة . هذا بالإضافة إلى الأثر السيء للأبخرة الناتجة ، عند ارتفاع درجة حرارة الخلطة المستخدمة في إغلاق الفرن ، والتي تحوى نسبة من المياه ، على الطوب الكربوني المغلف ، ولهذا كله يفضل أن تبنى المنطقة بطوب حرارى ، يحوى نسبة عالية من الألومينا .

وتوجد بالفرن عادة فتحة واحدة للحديد ، إلا أن بعض الأفران الحديثة كبيرة الإنتاج (من ٣٠٠٠ إلى ٥٠٠٠ طن يومياً) تزود بفتحتين (لكل منها صالة صب منفصلة مقابلة لها) ، بينها زاوية مقدارها ١٨٠ درجة . ويفتح الفرن من أحدها ثم يفلق ليفتح مباشرة من الناحية الأخرى ، وهكذا . وقد يصل العدد إلى ثلاث فتحات في بعض الأفران . وقد تولدت فكرة زيادة عدد فتحات الحديد للفرن الواحد ، نتيجة لعدم إمكان زيادة حجم بودقة الصهر ، بالقدر الذى يسمح بتخزين كمية الحديد الناتج خلال الفترة ما بين كل صبة وأخرى ، وأيضاً لإتاحة الفرصة لإتمام أعمال تجهيز صالة الفرن للصب عليها .

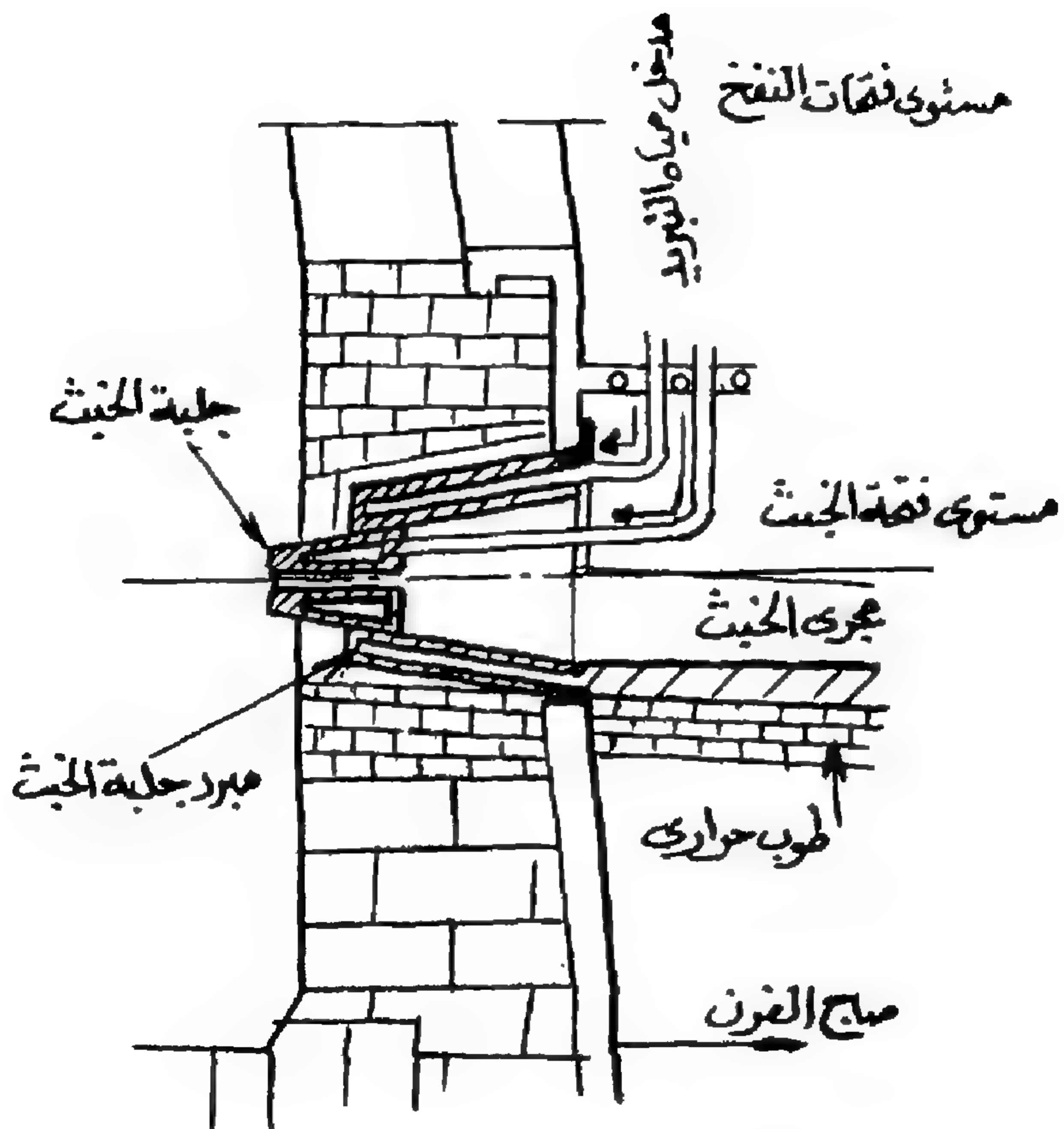
فتحة الخبت :

يلزم الاحتفاظ بالحجم الأكبر من بودقة الصهر مخصصاً للحديد السائل ، والإقلال ما أمكن من كميات الخبت الموجودة بها ، وذلك للأسباب الآتية :

- ١ - حجم بودقة الصهر بالفرن العالى محدود نسبياً .
- ٢ - للخبت تأثير غير محبب على تماسك فتحة الحديد .
- ٣ - ضرورة تخفيض زمن الصبة الكلى ، لايفقد المعدن جزءاً كبيراً من حرارته بالبواقى .

٤ - تلافى ارتفاع مستوى الخبت ببودقة الصهر ووصوله إلى مستوى فتحات نفخ الهواء ، وإغلاقها والإضرار بها .

وهذه الأسباب مجتمعة تستلزم التخلص من الخبث المتكون أولاً بأول . ولهذا يجهز الفرن بفتحة خاصة يمكن عن طريقها تفريغ هذا الخبث . وهي تسمى « فتحة الخبث » (الشكل ١٢) .



شكل ١٢ -

ويرتفع مستوى فتحة الخبث عن مستوى فتحة الحديد بمسافة تتراوح ما بين ٨٠ و ١٢٠ سم انظر الشكل (١٢) . وتبلغ المسافة أعلاها وحتى فتحات نفخ الهواء ما بين ٨٠ و ١٠٠ سم . وهي عبارة عن فتحة في جانب الفرن بزاوية ٩٠ درجة مئوية من فتحة الحديد ولها شكل مخروطي قطره داخل الفرن حوالى ٣٠ إلى ٤٠ سم ، وعند حافة الصاج المصلف لبودقة الصهر حوالى ٦٠ إلى ٧٠ سم . ونظراً لأن تلامس الخبث مع الماء لا يتبعه انفجارات خطيرة كما هي الحال عند تلامس الحديد والماء ، لذلك أمكن استخدام مبردات من النحاس ، الشكل (١٢) ملء الفراغ السابق ذكره .

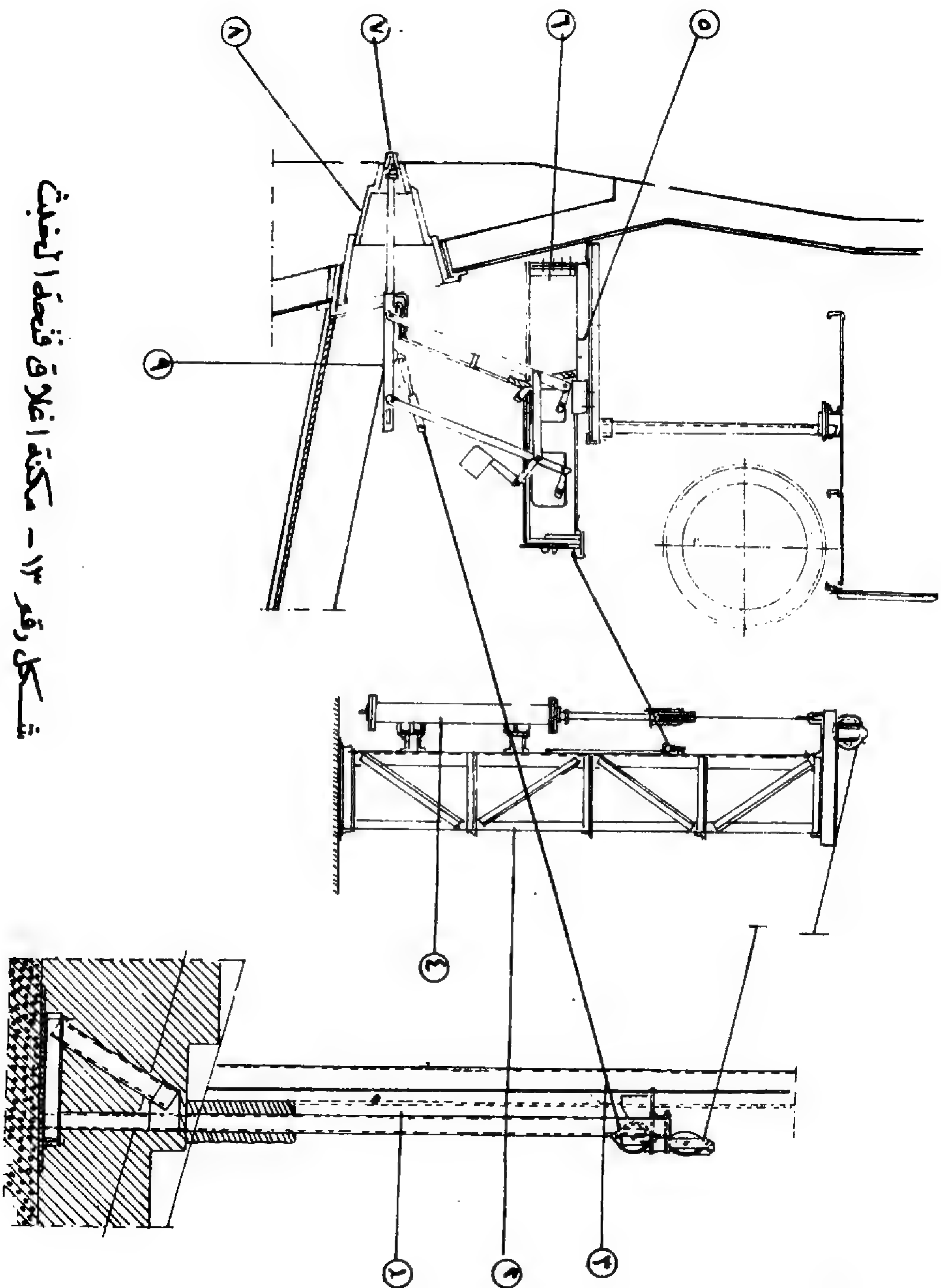
وهذه المبردات تسمى جلبة الخبث الكبيرة . وهي جلبة مخروطية الشكل ، تتركز بجانبها على الطوب الحرارى المبطن لبودقة الصهر . وتغلف تماماً وبعنائية ، كاملة الفجوات الصغيرة بينها ، بمخلطة حرارية خاصة . والجلبة يتصل سطحها الخارجى بمواسير مياه التغذية التى تدخلها من أسفل ، لتخرج من مجموعة أخرى من المواسير عند أعلاها . ويبلغ القطر الخارجى للجلبة من ٦٠ إلى ٨٠ سم ، عند صاج الفرن وقطرها الداخلى (داخل الفرن) ٣٠ إلى ٤٠ سم وبأعلى نهاية الجلبة داخل الفرن توجد فتحة قطرها ٢٠ سم ، وفى هذا المكان تركيب جلبة الخبث الصغيرة والمخروطية الشكل أيضاً . ويوجد فى منتصف هذه الجلبة فتحة دائرية قطرها يصل إلى ٦ سم تغلق بما يسمى الجزرة فى الأفران القديمة ، أو بقضيب مركب بمكنة غلق خاصة فى الأفران الحديثة . ويمر خلالها الماء ليبردها باستمرار انظر الشكل (١٢) .

وتثبت هذه الجلب من الخارج بجسم الفرن الفولاذية بمجموعة مواسير التبريد ، لتظل فى مكانها تقاوم الضغوط الواقعة عليها من داخل الفرن .

وتزود الأفران الحديثة - الكبيرة بفتحة خبث توجدان فى العادة - على جانبي فتحة الحديد بزاوية ٤٥° ، ٩٠ درجة مئوية على التوالى ، وذلك لتسهيل الحصول على الخبث السائل باستمرار وبالتالى تخصيص تجويف البودقة الصهر للحديد السائل ما أمكن .

جلب نفخ الهواء اللافع : (شكل ١٣)

وتسمى فى المجال الصناعى « ودنات » نفخ الهواء . وهى الطريق الذى يدخل من خلاله الهواء اللافع إلى الفرن . وتركب هذه « الودنات » فى الجزء العلوى من بودقة الصهر ، وتجهز لها فتحات خاصة فى جسم الفرن والمباني أنظر الشكل (١٤) . ويتراوح عددها من



شكل رقم ١٣ - مكنة إغلاق قفلة الخشب

١٠ إلى ١٨ وُدنة ، (في الأفران الحديثة يبلغ العدد ٢٢ فتحة) ، متناسقة التوازن على المحيط الفرن في هذا المستوى الذي يسمى مستوى « الودنات » والذي يقع على مسافة من ٥٠ إلى ٦٠ سم من نهاية بودقة الصهر العليا .

وجلب النفخ تشبه جلب الخبث في أنها تتكون من المبرد والودنة ، وتماثلها في شكلها المخروطي ، ووجود القرص المفرغ . ولا تختلف عنها إلا في أبعادها ، وفي وجود الفتحات المنتصفها تماماً وفي عددها ، حيث يبلغ عددها في الأفران الحديثة ثلاث جلب مركبة داخل بعضها بشكل التلسكوب . وقد أمكن بسبب هذا التصميم تخفيض وزن وحجم ودنات النفخ ، وبالتالي سهل عملية تغييرها وتركيبها ، كما أدى إلى إقلال الوقت اللازم لذلك . ويركب المبرد - تحميه شفة خاصة - بجسم الفرن ، وفي وضع أفق تماماً . ويفلق الحيز (إن وجد) بين المبرد وجسم الفرن بخلطة حرارية . وتركب في التجويف الداخلي لهذه المبردات وُدنة النفخ المخروطية الشكل والتي تنتهي عند حافة بطانة الفرن ، ويبلغ متوسط قطرها الداخلي من ١٠ إلى ٢٤ سم .

وتبريد هذه الودنات النحاسية - بالغ الأهمية . ولذلك تراقب باستمرار كميات ودرجات حرارة المياه الخارجة منها لاكتشاف أي خلل بها ، ذلك لأن أي ثقب بالمبرد يؤدي إلى برودة بودقة الصهر وربما إلى تجمدها . كما أن تسرب الماء من أي من ودنات النفخ يؤثر على كميات الحرارة الكلية بمنطقة الاشتعال . وقد يتسبب تسرب الماء في برودة المعدن والخبث ، ومتاعب في التشغيل . وكما يضر بخار الماء المتصاعد ببطانة الفرن ، خاصة تلك المبنية من الطوب الكربوني .

ويمكن للعين الخبيرة اكتشاف أي خلل بودنات النفخ عن طريق مراقبة داخل الفرن ، والغازات المتصاعدة ، وكذلك مشاهدة اللهب الأصفر المائل إلى الاخضرار الذي يصاحب صبات الحديد أو الخبث ، وتساعد أجهزة تحليل الغازات ، وارتفاع نسبة غاز الهيدروجين فيها عن المعدل على اكتشاف أي تسرب للمياه من المبردات أو من الودنات . ومراقبة المبردات أصعب من مراقبة الودنات نظراً لكبر كمية مياه التبريد المستخدمة بها وبالتالي الفارق الطفيف في درجات حرارة المياه الخارجية منها والداخلية إليها . وكذلك لعدم إمكان رؤيتها من خلال فتحة النظارة بكوع الودنات . وسوف نتعرض لذلك تفصيلاً في الباب الخاص بمراقبة تشغيل الأفران .

وتشكل جوانب نهاية السطح الخارجى لفتحة الودنة بشكل منحني ، يسمح بتركيب نهاية « ماسورة النفخ » التي تتصل نهايتها الأخرى بمجموعة من التوصيلات ، يمر هواء النفخ اللافح من خلالها إلى ماسورة النفخ فالودنة ، إلى داخل الفرن .

ويتوقف وقت التشغيل لهذه الودنات على حالة الفرن ، وعمر البطانة وظروف التشغيل . ويتراوح ما بين شهر وشهرين ، ولكن قد يصل أحياناً إلى ١٢ شهراً .

مجموعة توصيلات النفخ :

ترفع درجة حرارة الهواء الجوى بوحدة المسخنات الى درجات عالية تبلغ حالياً ١٢٠٠ درجة مئوية ويصل هذا الهواء الساخن ، المسمى الهواء اللافح ، خلال مواسير مبطنة بالطوب الحراري الى ماسورة الهواء الساخن ، التي تحيط بالفرن وتوجد عند مستوى منتصف المخروط السفلي تقريباً . وهذه الماسورة يبلغ قطرها من ٨٠ إلى ١٥٠ سم ، وهي مجهزة بفتحة مقابلة لكل فتحة من فتحات نفخ الهواء ، مركب عليها فلنشة تتصل بكوع من الحديد الهياثي أو الصلب ، مبطن بمادة حرارية يسمى « الكوع الصغير » ينتهي في ناحيته الأخرى بفلنشتين مثقوبتين توصلان طرفه الآخر « لنهاية الكوع الكبير » المصنوب من الحديد الهياثي ، والذي يستقيم في نهاية طرفه الثاني وينتهي (بمسلوب) يسمح بالدخول في المكان المحدد له في نهاية ماسورة النفخ ، وهذا الكوع مبطن بمادة حرارية أيضاً وتوجد في نهاية الجزء المستقيم منه فتحة محورها امتداد لمحور ماسورة النفخ الأفقي ويفلق هذه الفتحة باب منزلق به فتحة تستخدم لإدخال سيخ من الصلب لتسليك الودنات المغلقة ، هذه الفتحة مغطاة بما يسمى « النظارة » بها فتحة أصغر تغطي بالميكالون ، تسمح بالنظر خلال الكوع وماسورة النفخ والذنية إلى داخل الفرن ، وبالتالي تتمكن من مراقبة سير العمليات بداخل الفرن في منطقة مستوى الودنات ، الأمر الذي يمكن العين الخيرة من الحكم على حالة الفرن وبودقة الصهر عامة .

وهذا التصميم يسمح بتمدد أجزاء مجموعة توصيلات الهواء اللافح ، دون السماح بتفريجه نتيجة تثبيت كل جزء منها في المكان المحدد له بنهاية الآخر . كما أن التجويف يسمح لها بالحركة كوحدة متكاملة وهكذا تتمكن مجموعة التوصيلات هذه من مقاومة الضغط إلى الخارج الذي يسببه زيادة الضغط داخل الفرن .

ويوجد في أسفل الكوع الكبير مكان يركب به شداد مثبت في جسم الفرن ، يمكن عن

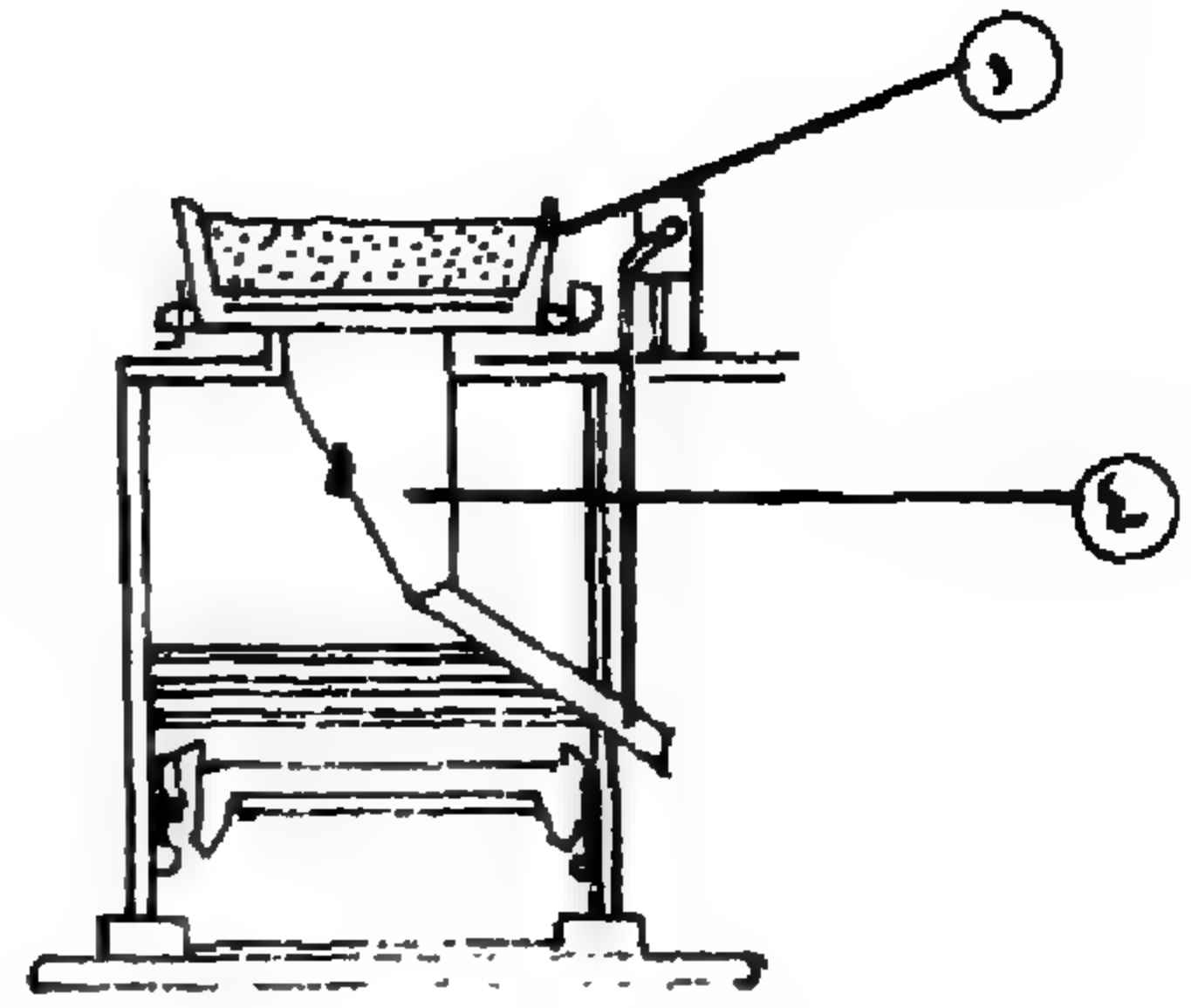
طريقه زيادة تثبيت المجموعة في مكانها وصمودها ضد الضغط الواقع من داخل الفرن .

٣ - المخروط السفلى :

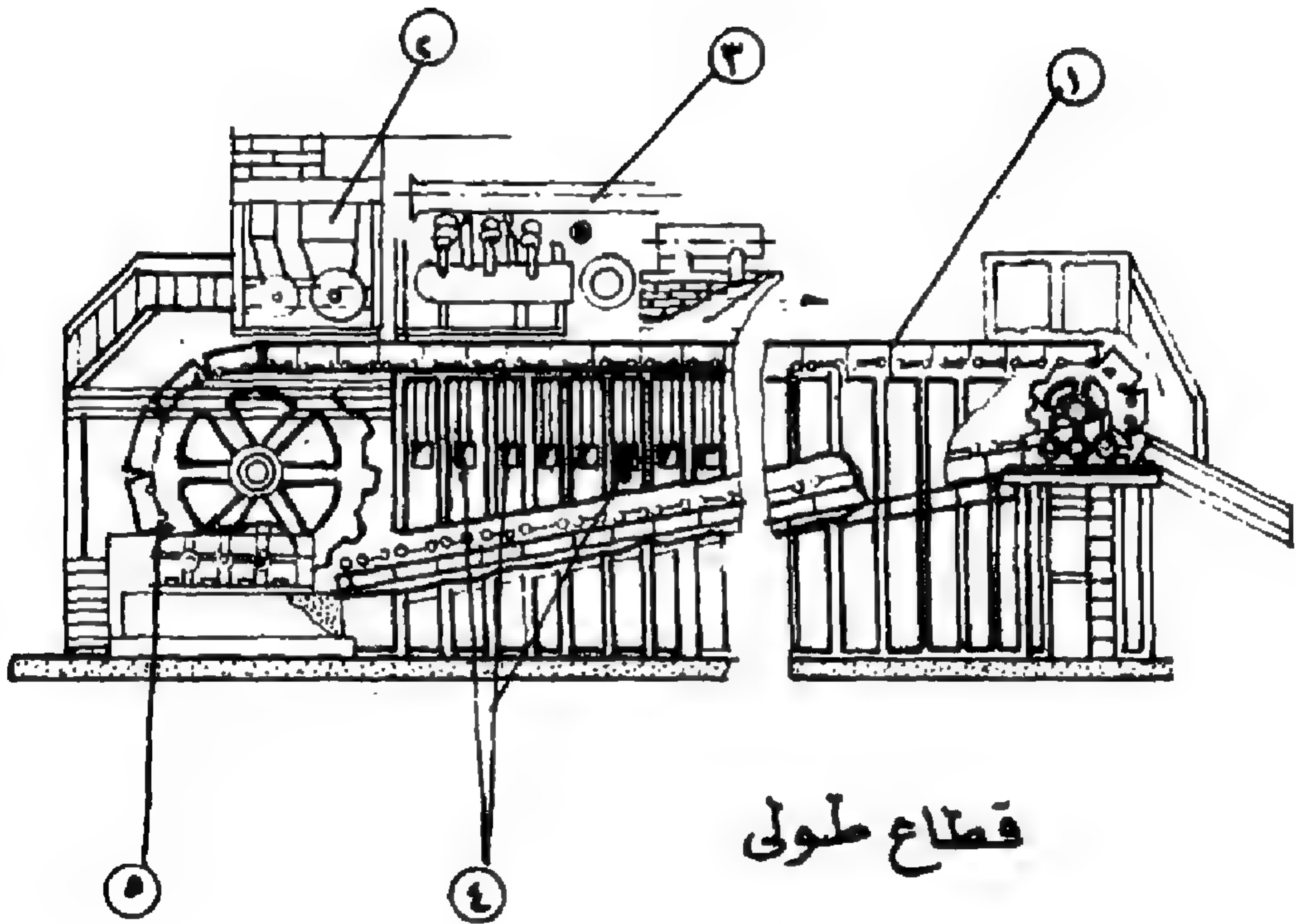
هو منطقة الفرن المحصورة بين بودقة الصهر والجزء الأسطواني من الفرن . وهذا الجزء يتعرض لدرجات الحرارة العالية الناجمة من احتراق الكوك أمام الودنات . ولهذا تعتبر هذه المنطقة ، أصعب مناطق الفرن من حيث التصميم ، حيث تختم ظروف العمليات المبتلوجية التي تتم فيها ضرورة توافر مقاومة كبيرة للحرارة العالية بالإضافة إلى مقاومة القوى الناجمة من الإحتكاك بالمنصهرات الهابطة كما أن عليها أن تقاوم أيضاً تأثير الخبث والحديد . وبسبب انصهار جميع مكونات شحنة الفرن في المستويات التي تعلو هذه المنطقة ، وما يصاحب ذلك من نقص في حجمها ، فلقد اكتسبت هذه المنطقة الشكل المخروطي المميز لها (بقاعدته المتسعة إلى أعلى) حتى تنزلق المنصهرات هذه بسهولة على جوانبه المائلة إلى داخل الفرن . ويحدد ميل هذه الجوانب اعتبارات عديدة ، تتمثل في نوع الخام المستخدم ، وحجم الفرن ، وارتفاعه الكلي . لذلك تعتبر زاوية ميل هذه الجوانب من أهم أبعاد الفرن ، حيث أنها تتحكم في كيفية هبوط الشحنة بالمناطق التي تعلوها .

ويطن المخروط السفلى بالطوب الحراري العالي الألومينا أو بالطوب الكربوني ، بسبك ثابت . وفي الأفران الحديثة يجري تبريد مباني المنطقة هذه باستخدام صناديق تبريد رأسية أو أفقية توضع داخل البطانة . وهذه الصناديق تغذى بعضها بعضاً في مجموعات متناسقة بمياه التبريد . أما في حالة استخدام الطوب الكربوني فيتم التبريد عن طريق رشاشات المياه التي تسقط كميات كبيرة من المياه على سطح الصاج الخارجي المغلف للمباني ويبلغ سمك البطانة في هذه المنطقة من ٨٠ إلى ١٠٠ سم ، ويغلفها صاج الفرن الذي يبلغ سمكه من ٤٠ إلى ٦٠ سم .

وفي الأفران المصممة وفقاً للنظام الأمريكي (أنظر الشكل ١٥) يحيط بالفرن ، في مستوى سطح نهاية المخروط من أعلى ، هيكل معدني من الصاج والزوايا والكر القوي المتناسك يسمى الحزام . وهو يحمل كل مباني المخروط العلوي ، وهياكل الأدوار ، وجسر الشحن ، وقة الفرن . ويرتكز على مجموعة من الأعمدة المتينة (يعادل عددها نصف عدد الودنات المستخدمة) ترتكز بدورها في نهايتها على قاعدة الفرن الأساسية . وفائدة هذا النظام أنه يقسم الفرن إلى جزئين منفصلين عن بعضهما بعضاً تماماً في التحميل ، هما



قطاع عرضي



قطاع طولي

الشكل ١٥ - مكنة التليبيد

المخروط السفلى وبودقة الصهر كوحدة وباقي الفرن كوحدة أخرى . وبذلك يمكن إجراء
العمرات والإصلاحات بالجزء الأول دون حاجة بالمرّة إلى المساس ببقاى الجزء الثانى وهو
اتجاه يفضله العاملون بالأفران العالية .

٤ - الجزء الأسطوانى - البرميل :

وهو الجزء الذى يصل ما بين المخروط العلوى والمخروط السفلى ، ويتكون من أسطوانة
ملتفة من الصاج ، ويبلغ ارتفاعها ما بين ١,٥ إلى ٢,٥ متر . وقطرها هو أكبر قطر فى الفرن
العالى ، ويتراوح ما بين ٦ و ١٨ متراً حسب حجم الفرن وزاوية ميل وارتفاع المخروط
السفلى .

وقديماً كانت هذه المنطقة غير موجودة بالفرن ، حيث كان المخروط العلوى ينتهى ببداية
المخروط السفلى مباشرة . غير أن التجارب أثبتت أن هذه التحول المفاجيء ، يؤثر تأثيراً
مباشراً على كيفية هبوط الشعنة بالفرن . كما ثبت من نتائج الاختبارات العديدة على
البروفيل النهائى لبطانة الفرن عند انتهاء عمرها ، أن البطانة تتآكل بصورة كبيرة بحيث
يصل شكل الجزء عند نقطة التقاء المخروطين فى النهاية إلى هذا الشكل الأسطوانى .

(شكل ١٦)

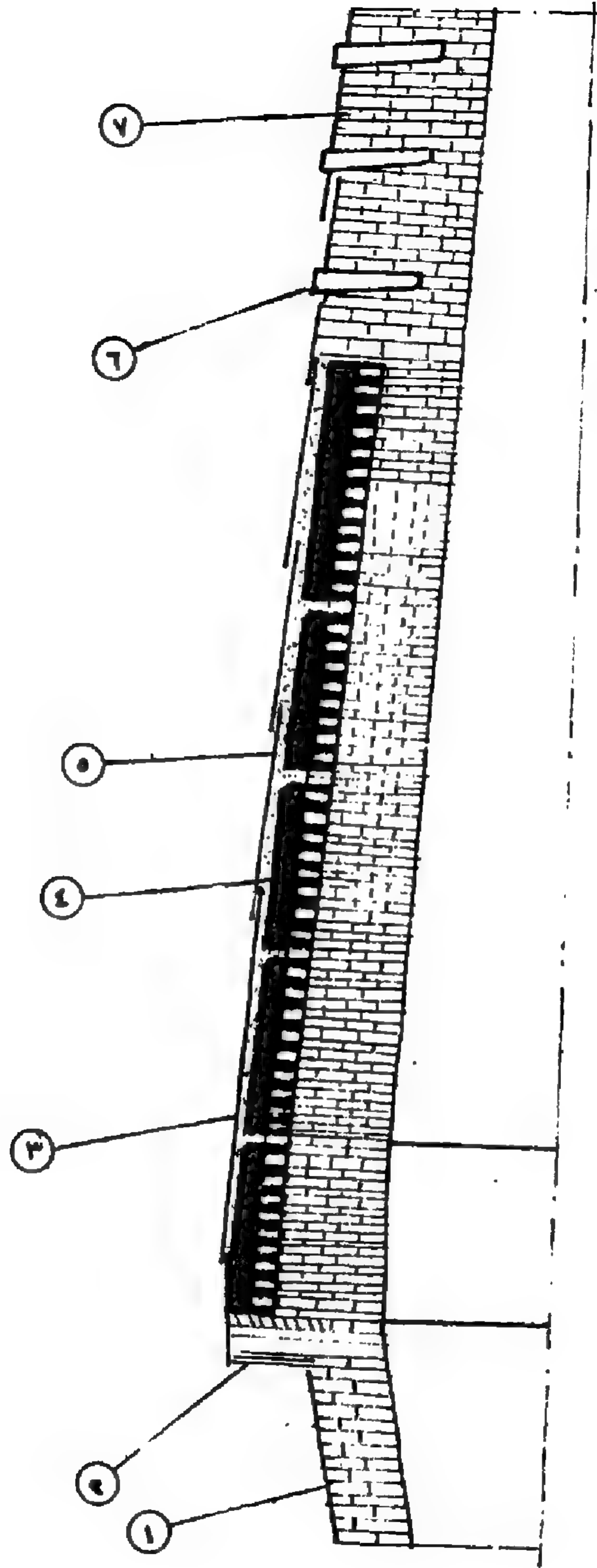
وسواء كان مستواه أعلى من هذه النقطة أم عندها (أثبت بعض التجارب وجوده فى
منطقة أعلى من نقطة الالتقاء هذه) ، (شكل ١٦) إلا أن هذه الأسباب جميعها دفعت
المصممين فى السنوات الأخيرة إلى الأخذ بها ، وأصبحت منطقة الأسطوانة جزءاً من
الأفران الحديثة .

٥ - المخروط العلوى :

هو الجزء المحصور بين الأسطوانة وحلق الفرن ، وهو أكبر أجزاء الفرن حجماً ، حيث يبلغ
تقريباً نصف حجم الفرن الكلى أو أكثر وتعرض شعنة الفرن خلال هبوطها فى هذا الجزء .
لتغيرات فيزيقية وكيميائية نظراً للتباين الكبير فى درجات الحرارة بين أعلى المخروط وأسفله
من أهمها :

١ - زيادة حجم المشحونات بسبب تمددها نتيجة لتحلل غاز أول أكسيد الكربون وتأثير

عليها .



شكل ١٧ - المخروط العلوي ومبردات البطانة

٢ - التغيرات التي تحدث بسبب التفاعلات الكيميائية بالفرن العالى . لذلك اكتسب هذا الجزء من الفرن شكله المخروطى المتزايد الاتساع فى اتجاه هبوط الشحنة .
ولقد أدى التباين الكبير فى درجات الحرارة فى المستويات المختلفة للمخروط العلوى إلى امكان اعتباره مكوناً من ثلاث مناطق متساوية الارتفاع هى العلوية والمتوسطة ، والسفلى .
وتتم فى المنطقة السفلى معظم التفاعلات ، حيث تبدأ الشحنة - عند نهايتها - فى الإنصهار .
وهذا التقسيم تتبعه تغيرات فى نوعية الطوب الحرارى المستخدم فى البطانة حتى ين بالمتطلبات التى تستلزمها طبيعة العمليات الميتالورجية التى تتعرض لها الشحنة فى كل منها .
وقد استتبع ذلك تغيرات فى نوعية وسمك البطانة الحرارية - حيث يتراوح ما بين ١٢٠ سم فى المنطقة السفلى و ٦٠ سم فى المنطقة العلوية - وتجرى عملية تبريد الطوب الحرارى المستخدم بواسطة المبردات التى ترص فى صفوف أفقية متتابعة بنفس تنظيات المخروط السفلى (التى توضع داخل طوب البطانة) أو باستخدام صناديق التبريد الأفقية والرأسية ، (الشكل ١٧) وتغليف البطانة بصاج سمكه من ٢٠ إلى ٣٠ مم على هيئة ألواح ملحومة حيث ثبت أن اللعاب يزيد من تماسكها ومتانتها ، كما أنه أخف وزناً بالمقارنة مع الألواح المربوطة بمسامير والتى كانت تستخدم قديماً .

٦ - الحلق أو الزور :

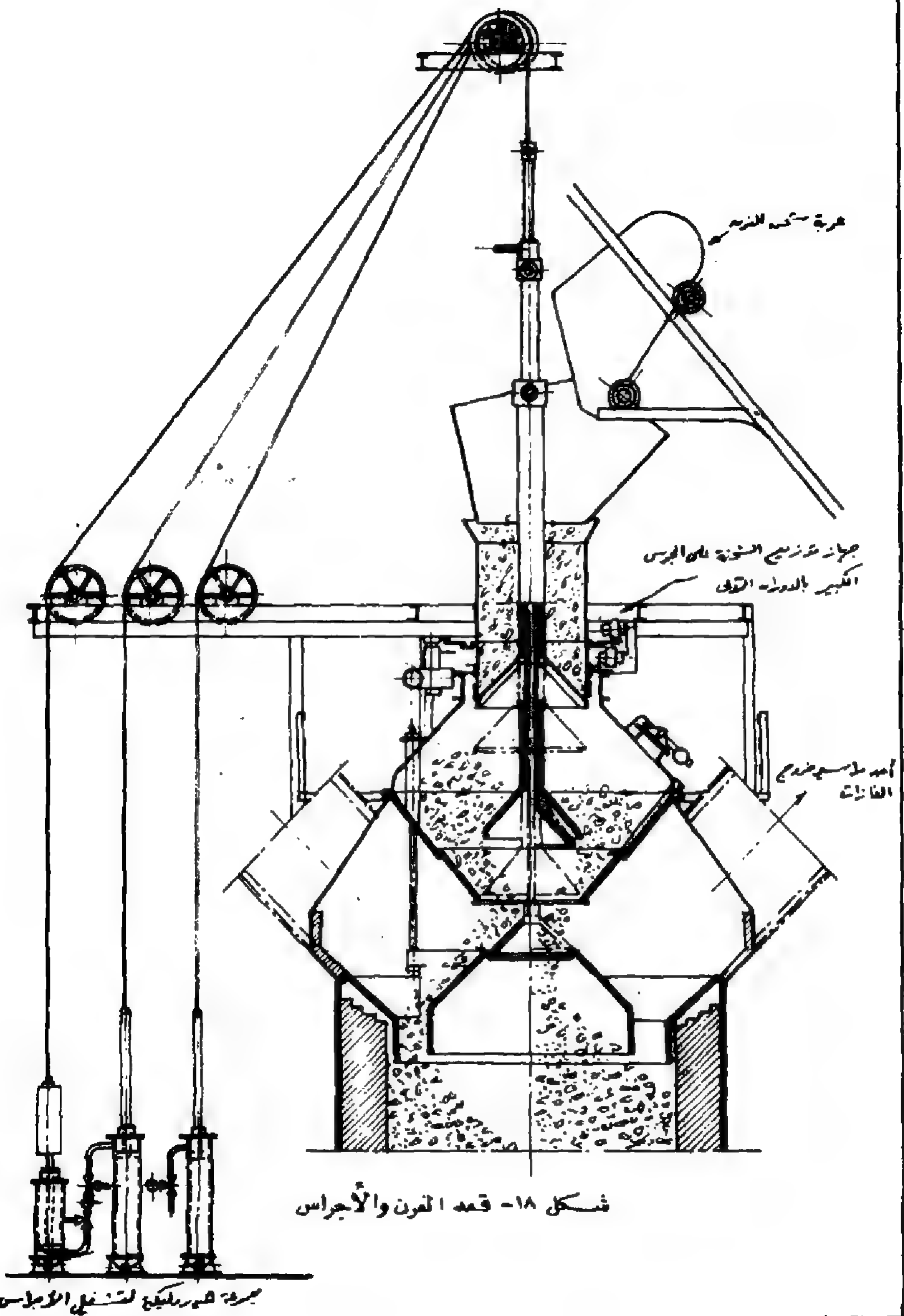
هو أعلى جزء من المخروط العلوى وترتطم بجوانبه المشحونات عند هبوطها من على الجرس الكبير إلى داخل الفرن . وكان هذا الجزء يبنى قديماً بالطوب الحرارى المغلف من داخل الفرن بصاج سميك ، يقاوم إحتكاك المشحونات بجدار الفرن . ثم استخدمت صدمة من ألواح صاج ملحومة بشكل أسطوانة ارتفاعها ٣ - ٤ أمتار ويقطر أقل من قطر المخروط فى هذه المنطقة بحوالى ٣٠ سم ، وهى تعلق داخل الفرن فى مستوى أقل من مستوى فتحة الجرس الكبير بحيث ترتطم بها المشحونات عند هبوطها . ونظراً لتأثير ذلك على توزيع شحنة الفرن ، وسطحها ، وبالتالى على تشغيل الفرن ، بالإضافة الى ماتطلبه إصلاحاتها الكثيرة من متاعب ، فقد استبدل بها حالياً ما يسمى بنظام التسليح أعلى الفرن . وفيه يبنى الجزء العلوى من المخروط العلوى ، على بعد حوالى ٣ - ٤ أمتار من أعلى الفرن ، بمجموعة من كتل الصلب على التنجيز المصبوبة بسمك يبلغ ٦٠ إلى ٨٠ سم وبارتفاع يبلغ ١٥٠ إلى ٢٠٠ متر . وقد يمتد عمرها بطول فترة تشغيل البطانة ولا تحتاج

بطول فترة تشغيل البطانة ولا تحتاج إلى إصلاحات . ويجب عند تركيبها أن تكون في مجموعة مكونة بشكل أسطوانى متمركز مع محور الفرن تماماً .

٧ - قمة الفرن العالى :

يحتوى غاز الأفران العالية نسبة عالية من غاز أول أكسيد الكربون الخائق القابل للاشتعال ، لذلك يجب المحافظة عليه ومعامليته بالاحتياطات البالغة ، لتأمين سلامة العاملين من الاختناق أو من الانفجارات التى تتبع اشتعال هذا الغاز فجأة عندما تنهيا الظروف لذلك . يمثل الغاز مصدرا رئيسيا من مصادر الطاقة اللازمة لتشغيل مصانع الحديد والصلب ، لذلك يلزم الحفاظ عليه وتخزينه لحين استهلاكه بالأمان الكافى ، ولهذين السببين ، كان من الضرورى التفكير فى تجميعه فى مسارات خاصة يمكن الهيمنة عليها كلية ، ولقد بدأ التفكير منذ زمن بعيد ، فى إغلاق فتحة الفرن العليا فى غير أوقات الشحن ، وتجهيز الفرن فى أعلاه بمجموعة من المواسير التى تتركب فى مستوى أقل من مستوى فتحة الجرس الكبير ، لتكون مسارا للغازات حتى مكان استخدامه ، ومع استمرار التعديلات والتقدم التكنولوجى أمكن الوصول إلى الشكل الحالى لقمة الفرن ، (الشكل ١٨) .

ويأخذ شكل الصاج المغلف للمخروط العلوى عند نهايته العليا فى الاتساع ، ثم الضيق ، مكوناً جوانب مخروطين ناقصين متلاحمين بقاعدتيهما الكبيرتين فى مستوى أعلى قليلا من مستوى الجرس الكبير فى حالة الإغلاق ، وحيث قطر قاعدة المخروط السفلى الصغيرة ، تعادل قطر الفرن فى نقطة الحلق ، وقاعدة المخروط العلوى الصغيرى تكون فتحة الفرن العليا وهى بقطر أصغر من قطر الحلق ، تكون هذه قاعدة تتركب عليها بقية أجهزة الشحن ، الأمر الذى سبب الإقلال من تسرب الغاز إلى الجو . وتوجد بجوانب المخروط العلوى أربع فتحات تسمى « المآخذ » ، تتصل بأربع مواسير رأسية تتجمع كل إثنين منها فى ماسورة أخرى رأسية تسمى ماسورة « القبعة » ، وفى منتصف كل منها تقريبا فتحة تتصل بها ماسورة مائلة تلتق بالماسورة من الجانب الآخر ليكونا ماسورة الغاز المسماة بماسورة « البنطلون » ، التى تتصل من نهايتها الأخرى بمجمعات أترية الغازات ، ويتراوح قطر هذه المواسير ما بين ٨٠ و ١٢٠ سم ، ويراعى عند تصميمها الدقة البالغة .



تصميم الفرن العالي

الأفران العالية من الوحدات الصناعية التي تعرض تصميمها للكثير من التغيرات منذ بدء العمل بها حتى وقتنا هذا. وكان التغير ناجماً عن التطور الذي استوجبه التقدم التكنولوجي عامة، والخبرة العملية في تشغيلها خاصة.

ولقد أدى ذلك الى تأثر شكل الفرن بجغرافية الموقع. فأصبح هناك التصميم الشائع الخاص بالأفران الأمريكية، والتصميم الذي انتشر بين بلدان الدول الأوروبية. وفي النوع الأول يحمل المخروط العلوى على أعمدة متصلة في نهايتها الأخرى بقاعدة الفرن (الأساس)، في حين يحمل الصاج المغلف للمخروط، وحدات القمة وجسر الشحن والمسارات الدائرية حول الأفران عند المستويات المختلفة. ويبنى النوع الآخر مستقلاً، حيث تحمل أربعة أعمدة ضخمة مثبتة في أساس الفرن، كل معدات القمة والمعدات المساعدة، بدلاً من صاج الفرن في التصميم الأول.

ويعتبر التصميم الأمريكى، المرحلة النهائية من عدة مراحل تطوير. أولها «الأفران المربوطة»، التي كان المخروط العلوى بها يبنى من طوب حرارى يغلف من الخارج بألواح من الصاج يلف حولها شريط من الصلب، يربطها في صفوف يعلو بعضها بعضاً، بينما تغلف بودقة الصهر والمخروط السفلى بصاج مربوط بمسامير. وآخرها «الأفران المدرعة» وفيها تحيط ألواح الصاج السميكة الملحومة معاً بالطوب الحرارى، إحاطة تامة.

ولنقص الخبرات العملية والتكنولوجية، تعرض تصميم الأفران قديماً للعديد من التغيرات التي لم تكن تستند الى الدليل العملى الواقعى. وهناك خلافات عديدة في الرأى - لاتزال قائمة حتى الآن - فيما يختص بمدى تناسق أبعاد الأجزاء المختلفة للفرن أنظر الشكل (٢٥)، ويرجع ذلك أساساً الى عدم تطابق نتائج الاختبارات والفحوص التي تجرى على الأفران في نهاية أو في خلال فترة تشغيلها مع النتائج حصيلتها الخبرة العملية.

غير أن التطور العلمى والعملى، وتوالى الاختبارات وربطها بالواقع العملى، مكن من التعرف على العديد من التغيرات التي يتعرض لها شكل الفرن خلال فترة تشغيله. فلقد اتضح أن كل أبعاد الفرن تتعرض للتغير، بحيث يختلف شكل الفرن بعد التشغيل عنه عند التصميم وكمثال: لذلك، التغير الناجم عن زيادة الاقطار المتوسطة به مثل قطر الأسطوانة

الذى يتسع كثيراً ، وكذلك التغير فى ارتفاع المخروط السفلى ، وهو البعد بين حافة بودقة الصهر العليا ، وأكبر قطر فى المخروط العلوى الخ ..

ولقد أثبتت التجارب أن نوعية وكمية هذا التغير تعتمدان على بعض نواحي التصميم للفرن ، كتصميم دورة تبريد الطوب الحرارى ، أو على ظروف التشغيل ، كتوزيع شحنة الفرن وكيفية هبوطها ، ومسار الغازات الصاعدة التى تتأثر بأبعاد الفرن التصميمية الأصلية ، كقطر الحلق ، وقطر الجرس الكبير وقطر بودقة الصهر .

وبأخذ الإعتبارات العديدة المحيطة بالتشغيل ، والناجمة عن طبيعة العمليات الميتالورجية التى تتم بالفرن العالى ، يمكن القول بأن بعض أبعاد الفرن تتعرض إلى أقل القليل من التغير ، ويمكن اعتبارها ثابتة بطول عمر تشغيل بطانة الفرن الأصلية وهذه الأبعاد هى قطر الحلق وقطر بودقة الصهر وارتفاع البودقة ، وارتفاع الحلق ، والارتفاع النافع للفرن . أما بقية أبعاد الفرن - وإن اختلفت فى معدل تغيرها - تكون ثابتة فقط ، قبل بدء نفخ الفرن .

وكل الحقائق المذكورة عالياً ، أتت نتيجة البحث المرهق المتواصل ، للوصول إلى معرفة حقيقة مايدور بداخل الفرن من عمليات خاصة وأن الفرن العالى بوضعه المغلق ، لم يقدم المساعدة الفعالة للباحثين . ولقد تطلب ذلك منهم أن يحددوا أولاً وقبل كل شئ المهام التى يجب أن تؤدىها الأفران ، مع مراعاة الاعتبارات التكنولوجية للعمليات التى تتم بها . وكان من اللازم أن تؤخذ فى الاعتبار حصيلة الخبرة العملية السابقة فى تشغيل الأفران ، حيث أن مؤشرات الأداء عديدة وتتطلب الاهتمام بدراسة كل منها . ولقد أمكن تلخيص كل ذلك فى الآتى :

- ١ - يجب أن يحرق الفرن الكمية المحددة له من الكوك .
- ٢ - يجب أن تتوفر إمكانية استغلال الغازات الصاعدة بالفرن فى عمليات تسخين المشحونات ، واختزال الحديد وبعض العناصر الأخرى الموجودة بها .
- ٣ - يجب الحصول على المعدن الناتج عن عملية الاختزال فى حالة سائلة ، تضمن سحبه من الفرن وتسمح بنقله إلى المستهلك ، مع تخليصه من الشوائب بالقدر المسموح به فى عمليات الأفران العالية .
- ٤ - يجب تجميع شوائب الخبثات المستخدمة ، ورماد الكوك فى صورة خبث سائل ، يمكن سحبه من الفرن ونقله

٥ - يجب أن يتحقق التشغيل الاقتصادي ، وخاصة فيما يتعلق باستهلاك يجب أن يتحقق التشغيل الاقتصادي ، وخاصة فيما يتعلق باستهلاك الكوك وذلك بالموازنة بين معدل هبوط الخامات المشحونة بالفرن ، وانتظامه ، وتصاعد الغازات وتحللها لها .

من ذلك يتضح أنه للوصول الى الحديد والخبث بحالتها السائلة المطلوبة ، تتعرض شحنة الفرن إلى تغيرات عديدة فيزيقية وكيميائية ، وللتمكن من الحصول على النتائج بصورتها المطلوبة ، يجب أن يتم كل تغير من هذه التغيرات في مكان محدد بالفرن ، وأن ينتهي تماماً في هذا المكان قبل أن تنتقل منتجات إحدى المراحل إلى المرحلة التي تليها . وبالتالي فإنه لا يمكن الإسراع بإنهاء العمليات في منطقة معينة بالفرن دون التأثير على ما يسبقها وما يليها من مراحل . ومنه يتضح أن كل جزء بالفرن العالي في اتجاه هبوط الشحنة يجب أن يصمم بالصورة التي تؤكد انتهاء التغيرات المطلوبة فيه والمحددة له ، وبالتالي فهو مرتبط بالجزء الذي يعلوه وأيضاً مرتبط بالجزء الذي يليه . ويعنى ذلك أنه يجب أن يحدد الحجم النافع لكل منطقة بدقة تامة ، وأن يخضع للقوانين التكنولوجية الثابتة .

وحيث أن إنتاجية أى فرن - وهى مقياس لإتمام العمليات التي تتوالى في مناطق الفرن المختلفة - تكاد تكون ثابتة عند تشغيل هذا الفرن تحت ظروف متائلة ، فإن ذلك يعطى الدليل على أن أحجام مناطق الفرن المختلفة قد ارتبط بعضها ببعض بعلاقات ثابتة محددة كفلت إتمام العمليات اللازمة في كل منها تماماً .

ويعنى كل ذلك أن هناك حقيقتين يجب تحقيقهما عند تصميم أى بعد بالأفران العالية وهما :

١ - أن يكون هناك تناسق تام في شكل الفرن عامة ، وشكل كل منطقة به ، بما يتناسب وما يتم فيها من عمليات ، فثلاً ، مع بدء تشغيل الفرن تتغير كل معالم أبعاده التصميمية نتيجة تآكل البطانة الحرارية المحدودة له في مناطق عديدة . وتبلغ زيادة الحجم الناجم عن الحجم الأصلي التصميمى بعد سنتين حوالى ١٥٪ تقريباً ، ويعتمد ذلك على تصميم معدات تبريد الفرن .

٢ - أن تربط كل مناطق الفرن بعضها ببعض بعلاقات ثابتة تمكن الفرن من أداء وظيفته .

وأبعاد الفرن ومناطقه التي ينبغي الإحاطة بتصميمها هي :

١ - حجم الفرن النافع ، والتالى سعة الفرن .

٢ - ارتفاع الفرن النافع .

٣ - حلق الفرن .

٤ - المخروط العلوى ، والمخروط السفلى ، والأسطوانة .

٥ - بودقة الصهر .

ورغم المجهودات التى بذلت فى هذا المجال ، تضاربت الآراء واختلفت بين العلماء والباحثين فى جميع بلدان العالم ، بحيث أصبح من الصعب تحديد علاقة يتفق الجميع عليها بين كل جزء من الفرن والجزء الآخر .

غير أننا نورد فيما يلى بعضا من هذه العلاقات التى أمكن التوصل إليها وهى أن كانت فى الواقع تمثل فيما بينها تفاوتات قد لا يكون مقبولا فى بعض الأحيان ، إلا أنها ولا شك ذات فائدة كبيرة فى تحديد المدى الذى تنحصر فيه القيمة المثالية ، وبالتالي فهى تكتسب قيمتها كدليل يمكن الاسترشاد به .

١ - حجم النافع للفرن :

وهو حجم الفرن الذى يشغل بالمشحونات الصلبة والمنتجات السائلة أو بعارة آخر حجم الفرن فى المنطقة بين مستوى الشحنة بالفرن ومستوى فتحة الحديد .

وهو الجزء المستخدم فى عمليات الفرن . ويعتبر من الأبعاد الهامة والمحدودة للطاقة الإنتاجية للفرن لذلك فلقد حاول العديد من العلماء والباحثين وضع العلاقات التى تربط بينه وبين بقية أبعاد الفرن الأخرى وبينه وبين الظروف المحيطة بعمليات الانتاج . ومن أوائل هؤلاء جولد سيرخ وتروسال اللذان ربطا بين هذا الحجم ، وقطر الأسطوانة ، والارتفاع الكلى للفرن - وهو الارتفاع من فتحة الحديد حتى مستوى الشحن أعلى الفرن - بالعلاقة الآتية .

ح = ث . ع . ق

حيث :

ح = الحجم النافع للفرن

ث = ثابت يتوقف على الإنتفاع الفرن الكلى ، ويتراوح ما بين ٠.٤٧ - ٠.٥٣

ع = الارتفاع الكلى للفرن .

ق = قطر نهاية المخروط العلوى !! قطر الحلق !! .
وقد حددا الارتفاع الكلى للفرن والقمة بحوالى من ٢٢ الى ٢٥ مترا .
ويحدد الجانب الآخر من العاملين بالأفران العالية حجم الفرن النافع بالعلاقة التالية :

$$ح = \frac{ك}{م}$$

حيث :

ح = الحجم النافع العامل للفرن .

ك = كمية الكوك المحترقة بالفرن كل ٢٤ ساعة من التشغيل المنتظم المستمر المنتظم .

م = كمية الفحم المحترقة لكل م٣ من الحجم النافع للفرن كل ٢٤ ساعة من التشغيل المنتظم المستمر .

وحيث أن كربون الكوك هو المورد الأصيل للطاقة التى تتحكم فى مدى تقدم العمليات بالفرن ويمكن القول بأن معدل استهلاك الكوك لكل وحدة زمنية هو فى الحقيقة مقياس أو مؤشر لمدى هذا التقدم واستمراره .

وتختلف هذه الكمية فى بلدان العالم المختلفة . فهى محددة بكمية ٩٠٠ كجم فى أمريكا ، بينما هى ١٢٠٠ كجم فى الإتحاد السوفيتى وهذا الاختلاف نابع من أن الحجم المأخوذ فى الحسابات اليومية العادية هو الحجم التصميمى الأصيل للفرن ، وليس حجم الفرن الفعال الحقيقى . ولهذا تعتبر القيمة المحددة من العاملين بأفران الإتحاد السوفيتى خاصة أكبر من القيمة الحقيقية .

ولقد حدد ج . ج اريشكن هذه القيمة بمقدار ١٠٠٠ الى ١١٠٠ كجم / م٣ حيث تقترب القيمة من ١١٠٠ كجم / م٣ / ٢٤ ساعة تشغيل كلوا تقاربت وتناسقت أبعاد الفرن المختلفة من أبعادها المثالية .

٢ - الارتفاع النافع للفرن :

أجمع العاملون بالأفران العالية والباحثون على تأثير خواص الكوك وقدرته على مقاومة الإحتكاك وتقبل التحميل ، وكذلك تأثير خواص بقية مكونات الشحنة ، فى تحديد قيمة هذا الارتفاع بما يتناسب وهذه الخواص من ناحية وتحقيق أكبر فائدة من الغازات الصاعدة فى

اختزال وتجهيز الشحنة الهابطة من ناحية أخرى ، ولقد حدد بالفوت الروسى هذا الإرتفاع بمقدار يتراوح ما بين ٢٠ - ٢٧ مترا بينما حدده ا. ن رام الروسى أيضا بالعلاقة التالية :

$$ع = ٦٤٤ر٢٠$$

حيث ع = إرتفاع النافع للفرن ، ح الحجم النافع للفرن .
التي تربط بين الحجم النافع للفرن وارتفاعه النافع لما بينها من ترابط قوى وضمان لضرورة التنسيق بين متطلبات التشغيل التي يجب أن يحققها كل منها وعليه أصبح إرتفاع الفرن النافع للفرن حجة ٦٠٠ متر مكعب = ٢٣ر٣ مترا بينما يبلغ ذلك الارتفاع ٢٧ر٨ لفرن بحجم لافع ١٥٠٠ متر مكعب ويلاحظ أن هذه النتائج فى تناسق تام مع نتائج بالقلوت الروسى .

ويأخذ متطلبات العمليات الإنتاجية فى الاعتبار وتحول الشحنة الصلبة أعلى الفرن الى ناتج فى حالة السيولة فى أسفله فلقد ظهر رأى آخر يربط بين الإرتفاع النافع للفرن بين هذه المتطلبات . وهذا الرأى يحدد ضرورة أن لايزيد الارتفاع عن ٢٤ مترا حيث حدث نتيجة زيادة إرتفاع الفرن على هذا القدر لبعض الأفران الكثيرة أن كان إنتاجها أقل من الإنتاج المتوقع لها ، وهذا الى ماتطلبه زيادة هذا الارتفاع من خواص للكوك المستخدم قد يصعب الحصول عليها .

٣ - حلق الفرن أو الزور :

يؤثر توزيع الشحنة بأعلى الطريق الذى تخترقه الغازات الصاعدة لذلك فإن هذا التوزيع أمر بالغ الأهمية تكنولوجيا . وتلزم مراعاة الدقة التامة عند تصميم حلق الفرن لتوفير أفضل الظروف لهذا التوزيع ، رغم ماهو معروف عمليا من من إستطاعة الفنيين التحكم بهذا التوزيع بوسائل الشحن وطرقه المتعددة .
ولقد تعرض بعض الباحثين لدراسة أبعد الحلق وعلاقته بقطر الجرس الكبير ، منهم « ماكينزى » الذى حدد قطر الجرس الكبير بالعلاقة الآتية :

$$لوق = ٢٤٢ر٠ \times م/١٤ + ٧٤٢٨ر٠$$

ق = قطر الجرس الكبير ، م = الإنتاج اليومى للفرن بالطن ويزيد قطر الحلق عن قطر الجرس بمقدار ١٢٥ الى ١٥٠ سم .
ولكن بعض الباحثين الآخرين ربط بين مساحة حلق الفرن ومساحة منطقة احتراق

الكوك أمام الودنات ، حيث أن هناك تؤثر في سرعة وكيفية هبوط الشحنة داخل الفرن . ومعنى ذلك أن هناك علاقة ثابتة بين قطر لودقة الصهر وحلق الفرن ، ليس فقط لأنها بعدان لا يتأثران كثيراً بتقادم الفرن ، ولكن لضمان نسبة معينة بينهما وبالتالي بين مساحة الفرن عند مستواها لتحقيق أقصى الفوائد العملية .

وقد حدد رايس هذه العلاقة بتساوي مساحة الحلق ومساحة منطقة الإحتراق بينما حددها ج . ج اريشكن نتيجة تجاربه ودراساته لبعض الأفران بالاتحاد السوفيتي التي تتميز بإتزان حراري جيد بالعلاقة التالية :

$$\text{قصر} = 0.8 \cdot \text{قصر}$$

حيث ق س قطر الزور قصر قطر بودقة الصهر

ونظرا للعلاقة الوطيدة بين قطر الحلق وقطر الجرس الكبير ، فقلد تعرض العديد من العلماء لدراسة هذه العلاقة ومنهم دى فاتر ، الذي حدد أن مساحة الجرس الكبير تعادل $\frac{1}{8}$ مساحة الحلق غير أن هذه العلاقة تصلح فقط للأفران الصغيرة دون الكبيرة .

أما باقلوف فلقد اعتبر أن علاقته « دى فاتر » صحيحة للأفران حتى قطر خمسة أمتار ، وحدد الفارق بين قطر الجرس الكبير وقطر الفرن بمقدار ١٢٣ متر للأفران التي يبلغ قطر الجرس الكبير فيها ٤٦ متر (أفران مصانع ماجنيتو جورسك الروسية)

وحدد ج . ج اريشكن هذا الفارق بين قطر الحلق وقطر الجرس الكبير بمقدار يتراوح ما بين ١٢ - ١٦ متر وتستخدم القيمة الأقل في حالات الخامات الخاملة غير المجهزة ، بينما تستخدم القيمة العليا في حالات استخدام الخام الخشن أو اللبيد .

ورغم هذا التباين الكبير بين آراء العلماء والباحثين في تحديد أبعاد قطر الحلق إلا أنهم لم يختلفوا كثيراً في تحديد ارتفاعه الذي حدوده بقيمة تتراوح ما بين ٢٥ و ٣٠ أمتار وأخذه ج . ج اريشكن معادلاً ٢٦ متر في حساباته للارتفاع النافع للفرن .

٤ - المخروط العلوي - الأسطوانة والمخروط السفلي :

تشحن المواد بأعلى الفرن العالي صلبة وفي درجة حرارة عادية ، ثم تتوالى عليها التغيرات الكيميائية والفيزيائية خلال هبوطها بالفرن . فتزداد حرارتها ، وبالتالي يزداد حجمها نسبياً بترسيب الكربون ، ثم تصهر وتختزل نسبياً فتتسكك ، ثم تتحول الى السيولة في

درجات الحرارة العليا . وفي المتقة الاحتراق أمام الودينات يتحول الجزء الصلب الباقي منها (الكوك) إلى غازات . ولكي يقابل تصميم الفرن هذه المتطلبات اتخذ شكله الحالي حيث يبدأ في أعلاه وينتهي بأسفله بأقل الأقطار، بينما تزيد أقطاره فيما بينها .

ويتحكم هذا التحول من الحالة الصلبة إلى السائلة في تحديد التحول من المخروط العلوى إلى الأسطوانة إلى المخروط السفلى ، إذ أنه من المعروف أن سيولة المواد الهابطة تتحسن كلما كان منبعها المستويات المنخفضة من الفرن . ولكن حيث أنه يتحتم تهيئة الجو للغازات الصاعدة كي تتسلل خلال الفجوات الموجودة بين المشحونات الصلبة (الكوك) بسهولة ، وأن لا تلقى مقاومة كبيرة من تماسك المشحونات السائلة جزئياً ، فإن هذا يتطلب أن تتم هذه الإزالة في مستويات أعلى بالفرن . ولكي يتم التوفيق بين المطلبين ، يجب أن يكون التحول من المخروط العلوى إلى المخروط السفلى عند المنطقة التي يزداد فيها تحول المواد الصلبة إلى الحالة السائلة ، حتى تناسب هذه إلى المناطق التي تحتها تاركة فجوات تسهل مرور الغازات الصاعدة . إذ لو حدث هذا التحول في منطقة منخفضة عن الموضع المفروض لها فإن ذلك يسبب وصول مشحونات لم يتم بعد تجهيزها إلى هذه المنطقة الحرجة بالفرن ، مما يؤثر على الإيزان الحرارى للمنطقة ، ويسبب ارتباكاً للعمليات الميتالورجية والإنتاج ونوعيته . كما أنه لو حدث هذا التحول في منطقة تعلو المكان المفروض فعنى ذلك أن توجد مواد لم يكتمل إصهارها وسيولتها فتتاسك مع بعضها بعضاً وتسبب تعليق شحنة الفرن وصعوبة اختراق الغازات الصاعدة لها . ولما كان من الصعب تحديد مستوى معين يمكن أن يقال أنه الفاصل بين ما يعلوه من مواد متماسكة ، وما بأسفله من مواد لدنة أو سائلة فلقد وضع الجزء الأسطوانى الذى يعلو المخروط السفلى ، والذي يعلوه المخروط العلوى ، وسمى هذا الجزء الأسطوانة أو البرميل .

وبالنسبة لتأثير هذا الجزء على تسلسل العمليات والتغيرات الفيزيائية والكيميائية للمشحونات ، وباعتبار أنه أكبر أقطار الفرن ، فلقد لقي الكثير من الإهتمام من الدارسين والباحثين .

وقد ربط بعض الأمريكيين العلاقة بين قطر الأسطوانة وقطر بودقة الصهر بالعلاقة الآتية :

بينما حدد الأوروبيون هذه العلاقة كالآتي :

ولقد حدد اريشكن قطر الأسطوانة بالعلاقة التالية :

حيث :

ح/ حجم المخروط العلوى والسفلى معا
نق من نصف قطر الأسطوانة .
نق من نصف قطر بودقة الصهر

أما فيما يختص بارتفاع المخروط السفلى فقد حددته م. م. بافلوف متفقاً مع القيمة التي حددها الأمريكيون لهذا الارتفاع وقدرها ٣,٠ إلى ٣,٥٠ أمتار. أما أريشكن فقد حدد ارتفاع المخروط السفلى + ارتفاع الأسطوانة معاً بمقدار ٦,٠٠ أمتار، وهو لا يختلف كثيراً عن سابقه .

وتعتبر زاوية ميل المخروط السفلى خامه ، حيث تتحكم في مدى تحميل عامود الشحنات أعلاها على جوانب المخروط وتحدد قيمتها بمقدار ٧٦ إلى ٨٠ درجة مئوية .

أما ارتفاع المخروط العلوى فلقد ربطه العديد من الباحثين بالعلاقة الآتية :
ارتفاع المخروط العلوى = الارتفاع الكلى - (ارتفاع الحلق + ارتفاع البودقة + ارتفاع المخروط السفلى والأسطوانة) وهو حسب مذكره اريشكن يعادل ١٢,٠٠ متراً تقريباً .

وتعتبر زاوية هذا المخروط عن الأفق من أهم أبعاد الفرن . ولقد حددها م. م. بافلوف بقيمة ٨٥ درجة مئوية عند استخدام خامات هشة أو تحتوى نسبة عالية من النواعم و ٨٧° عند استعمال الخامات الخشنة الصلبة .

٥ - بودقة الصهر :

في رأى العديد من العلماء أن أبعاد بودقة الصهر هي التي تحدد إنتاجية الفرن العالى . ذلك أن مساحة بودقة الصهر تحدد كمية الكوك التي تحترق في فترة زمنية محددة . ولو أن

ذلك يعتمد أيضاً على كمية الهواء المنفوخ . وأهم المتطلبات التي يجب أن يحققها التصميم المختار لبودقة الصهر مايلي :

- ١ - أن يتسع لكمية محددة من الحديد والخبث السائلين .
- ٢ - أن يتيح الفرصة لحرق الكمية المحددة من الكوك لكل وحدة زمنية .
- ٣ - أن تتم كرينة المعدن المنصهر . وتخليصه من الكبريت ما أمكن .

ونظراً للأهمية التي تنفرد بها هذه المنطقة بسبب تأثيرها على إنتاجية الفرن ، فلقد تعرض العديد من الباحثين لتصميمها ، ووضع العلاقات المحددة لها ومن أولهم ستيفنسون الذي ربط بين إنتاج الفرن وبين قطر بودقة الصهر بالعلاقة الآتية :

$$Q = 31.8 M$$

$$M = \text{كمية الإنتاج بالطن في اليوم}$$

$$Q = \text{قطر بودقة الصهر .}$$

$$Q = \text{قطر بودقة الصهر}$$

كذلك حدد ماكينزي العلاقة بين قطر بودقة الصهر وبين الإنتاج اليومي نتيجة اختباره التي أجراها على ٢٥ فرنأ عالياً تعمل بأوروبا بالعلاقة التالية :

$$Q = 0.266 M^{0.8526} \text{ أو } Q = \frac{M}{24}$$

ومن الملاحظ محاولة كل منها ربط أبعاد بودقة الصهر بالإنتاج اليومي للفرن أما الباحثون الآخرون فلقد حاولوا ربط أبعاد بودقة الصهر بكمية الفحم التي يمكن احتراقها لكل وحدة مساحة من سطح بودقة الصهر لكل ٢٤ ساعة ، وبين كمية الفحم اللازمة لإنتاج طن من الحديد . ومنهم ماكنزي ، وجولد سبروخ ، وتروستال ، وپافلوف . ونتيجة لاختباراتهم فقد حددوا هذه الكمية بمقدار ٦٦ الى ٧٦٠ كجم / م^٢ في كل ساعة .

وحدد پافلوف أقطار بودقة الصهر لمجموعة من الأفران تتراوح سعتها بين ٥٥٠ و ١٢٥٠ م^٣ غير أنه لوحظ أن الأبعاد الناتجة من تطبيق علاقة پافلوف كانت أكبر من الموجود حالياً بالصناعة ، وخاصة للأفران ذات الإنتاج بين ٦٠٠ - ١١٧٥ طن/ يوم . ويمكن تعليل ذلك بانخفاض معدل احتراق الكوك الذي استخدمه عن المعدل الفعلي

السارى حالياً والذي يبلغ ١٢٥٠ كجم/م^٢ من مساحة بودقة الصهر لكل ساعة وهو الذى يتم فى غالبية الأفران بإنتاجية ٦٠٠ حتى ١٢٠٠ طن يومياً . وكان المعدل الذى اقترحه باقلوف يقل بنسبة ٣٠٪ عن ذلك المعدل .

وبتطبيق المعدل الحالى لوحظ أن النتائج التى حصل عليها تقاربت مع نتائج تطبيق نظرية باقلوف للأفران الحالية . وبناء عليه تمكن ج .ج اريشكن من وضع العلاقة التالية :

$$Q = \frac{K}{23,55} = \frac{K}{0,785 \times 30}$$

$$Q \text{ ص} = \text{قطر بودقة الصهر} \times K = \text{كمية الفحم المحترقة} / 24 \text{ ساعة}$$

$$\text{حيث } 30 = 1250 \times 24 = \text{كمية الفحم المحترقة} / \text{م}^2 / 24 \text{ ساعة}$$

$$\frac{3,14}{4} = \frac{\pi}{4} = 0,785$$

ويلاحظ أن الارتفاع حالياً فى المقدار المعد لكل م^٢ كل ساعة قد ناجم عن إمكانية تشغيل أجزاء الفرن وكل مناطقه .

أما ارتفاع بودقة الصهر فقد حددت المشاهدات والخبرة العملية قيمتها بمقدار يتراوح ما بين ٣,٢ - ٣,٥ أمتار أمتار وبذلك تحققت العمليات التى تؤدى لمنطقة الصهر مثل كرينة المعدن ، وزيادة تسخينه هو والخبث ، وتخليصه من نسبة عالية من الكبريت . وتوضع فتحة الخبث على ارتفاع ١٤٠ إلى ١٦٠ سم من مستوى فتحة الحديد وإذا جهز الفرن بفتحة خبث فالفرق بين مستويها يبلغ ١٢ إلى ١٥ سم ، ومستوى فتحات نفخ الهواء اللافح « الودنات » يعلو بمقدار ١,١٠ إلى ١,٣٠ سم مستوى فتحة الخبث العليا وعلى بعد يتراوح ما بين ٥٠ و ٦٠ سم من الحافة العليا لبودقة الصهر .

ولقد كان من نتائج هذه الدراسات المكثفة لعلاقة مناطق الفرن العالى بعضها ببعض ، أن قامت دول عديدة بتغيير تصميمات الأفران العالية القديمة الموجودة بها طبقاً لنتائج هذه الدراسات وذلك بتعديل فى تصميم أبعاد البطانات الحرارية فى المناطق المختلفة بالفرن مع إدخال نظم التبريد الحديثة والأكثر فاعلية كما حدث بالفرن رقم ٢ بمصانع آزوفستال الروسية مما رفع إنتاجية الفرن بنسبة ٢٥٪ وقلل من استهلاك الكوك بمقدار ١١٪ .

الباب الثالث

الحراريات المستخدمة في بناء الأفران العالية

تتم عملية صهر الخامات بالأفران العالية، للحصول على الحديد الزهر في درجات حرارة عالية. ولهذا أصبح من الضروري تبطين الأفران، وبعض ملحقاتها، بالطوب الحرارى ألواقى، الذى يختلف في مواصفاته وطرق تصنيعه، تبعاً للاحتياجات التكنولوجية لواجب توافرها في مكان الاستخدام، ولذا نلاحظ أن الحراريات المستخدمة في تبطين لأفران العالية خاصة، أو ملحقاتها عامة، ذات طابع خاص، إذا قورنت بالطوب الحرارى لعادى. إذ تصنع هذه الحراريات من مكونات لا تقل درجة حرارة انصهار أى منها عن ١٥٨٠ م°، وكما يتضح من الجدول التالى:

المكونات الأساسية للطوب الحرارى المستخدم بالأفران العالية

المادة	الرمز الكيميائى	درجة حرارة الانصهار
السيليكا	س ا	١٧٠٠°
الألومينا	ل و ا	٢٠٥٠ م°
الجير	كا ا	٣٦٧٠ م°
الماغنيسيا	مغ ا	٢٨٠٠ م°
أكسيد الكروم	كر ا	
الكربون	ك	يتسامى دون أن ينصهر في درجة حرارة ٣٩٠٠ م°

طريقة صنع حراريات الأفران:

تجمع المواد الخام اللازمة لإنتاج أى نوع من حراريات الأفران العالية، وتنقى من كل الشوائب العالقة بها، ثم تكسر وتطحن وتنخل، وتوضع في صوامع تخزين حسب

احجامها ، وتسحب الخامات المطحونة منها بكميات محسوبة ، للحصول على خلطة متجانسة التكوين تماماً . وتضاف إلى هذه الخلطة مواد رابطة ، ثم تشكل بعد ذلك ، باستخدام المكابس الميكانيكية ، إلى الأشكال والمقاييس المحددة المطلوبة . وتترك هذه بعض الوقت للجفاف ، بعدها تشحن في أفران خاصة أو قائن ، ترفع درجة حرارتها بالتدريج ، وتحت مراقبة صارمة ، وبنظام خاص ، يتناسب ونوع كل منها ، إلى أن تصل درجة حرارتها حتى ١٣٠٠ إلى ١٦٠٠°م ، ويستخدم غاز الأفران العالية ، أو الغازات الطبيعية ، أو غاز الكوك في تسخين هذه الأفران .

أسباب تداعى الطوب الحرارى بالأفران :

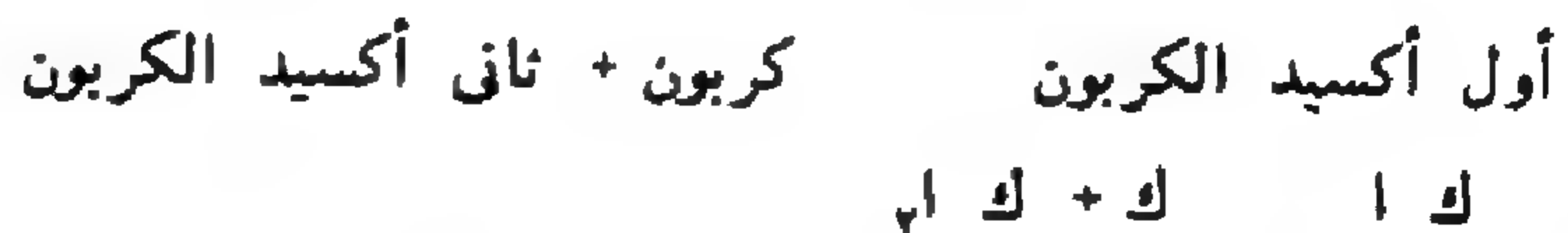
نظراً لتعدد العوامل التى تتحكم فى عملية إنتاج الحديد الزهر بالأفران العالية وتباينها ، واختلافها من مستوى إلى مستوى بالفرن ، فلقد تنوعت المسببات التى تؤثر على مقاومة الطوب الحرارى المبطن لها ، والتى تقلل من زمن تشغيله ، الشكل (٣٦) . وعليه فإطالة زمن التشغيل هذا ، يجب اتخاذ الاحتياطات اللازمة لمواجهة كل ما تسببه هذه المؤثرات من أضرار وإتلاف للحراريات ، والتغلب عليها .

وأهم هذه المؤثرات :

- (أ) تحلل الطوب الحرارى بسبب الكربون المترسب عليه (التحلل الكربونى) .
- (ب) الأثر الكيميائى للقلويات والخبث .
- (ح) التغير الحجمى للطوب ، وتأثير المواد المتطايرة بمكونات الشحنة .
- (د) شكل وتصميم الفرن والتوزيع الحرارى بداخله .
- (هـ) تشغيل الفرن ونظام النفخ المستخدم .

وفىما يلى شرح مبسط لبعض هذه الظواهر ، وأثر كل منها على حراريات الفرن العالى :

- (أ) التحليل الكربونى : يقصد بذلك ، ما يعترى الطوب الحرارى من تفتت ، بسبب الكربون الناتج من تحلل أول أكسيد الكربون الموجود بغازات الأفران الملامسة للطوب ، على النحو التالى :



حيث يترسب الكربون على أسطح الطوب الخارجية ، أو على أسطح المسام بداخله .

والتفاعل المذكور عاليه ، يتم في درجة حرارة منخفضة نسبياً (٤٥٠° م إلى ٥٧٠° م) ، وبشرط وجود عامل مساعد ، ويؤدي الحديد النشط الذي تم اختزاله حديثاً من أكاسيده ، والذي لم تتح له الفرصة بعد لاستكمال تكوين بلوراته وتوازنها ، دور مساعد التفاعل في هذه الحالة .

ومما يتقدم يتضح أنه للتغلب على هذه الظاهرة ، يجب أن :

- (١) تخلو الطينة التي يصنع منها الخليط ، بقدر المستطاع ، من المركبات الحديدية .
- (٢) أن تكون مسامية الطوب المستخدم في هذه المنطقة قليلة جداً ، حتى لا تعطى الفرصة لترسيب مزيد من الكربون ، بزيادة سطح التلامس بين الطوب والغازات .
- (٣) أن تعطل خطوات تكوين مساعد التفاعل ، ويمكن ذلك بتحويل أكاسيد الحديد بالحراريات المستخدمة إلى مركبات حديدية صعبة الاختزال ، وبالتالي لا يتوافر وجود الحديد النشط الذي يقوم بعمل مساعد التفاعل .

ويختبر الطوب الحراري لتحديد مدى مقاومته للتحلل الكربوني لتعريض عينات منه بعد تشغيلها في درجة حرارة ٤٢٠ إلى ٥٠٠° م لتيار من غاز أول أكسيد الكربون ، أو بإمرار الغاز في خلطة الطوب قبل التصنيع لمدة أربع ساعات ، ثم قياس كمية المترسب من الكربون عليها ومقارنته بالأرقام المتفق عليها .

(ب) تأثير القلويات : تحوى شحنة الأفران العالية عادة ، نسباً قليلة من القلويات ، ويعتبر الكوك والخبث أهم مصادر هذه القلويات ، وأهمها أكسيد الصوديوم وأكسيد البوتاسيوم ، وتتصاعد أكاسيد هذه القلويات مع ارتفاع درجات الحرارة داخل الفرن مع غاز الفرن العالي كأبخرة تتكثف ثانية في المناطق المنخفضة الحرارة (نسبياً) أعلى الفرن ، حيث تتحد ببعض مكونات الطوب ، وتسبب بذلك خفضاً لدرجة حرارة بدء انصهاره ، وهي في خلال هذا الاتحاد ، يحدث تغييراً في التكوين البلوري للطوب ، مع زيادة في حجمه تنسباً في خلق شروخ به .

ومن هذه القلويات أيضاً سيليكات الصوديوم والألومينا والسيانوجين ، الذي يتكون من كربون الكوك ونيتروجين هواء النفخ ، والذي يؤدي إلى تآكل الطوب وخفض قوة احتماله .

(ج) تأثير الخبث : يتآكل الطوب المبطن للفرن عند أماكن تلامسه مع خبث الأفران ، خاصة إذا كان هذا الخبث قاعدياً ، أى يحوى نسبة عالية من الجير ، وذلك لخواص هذا

الخبث أولاً ، ولإمكان اتحاد الجير بسيليكا الطوب الحرارى ثانياً . ويحدث ذلك غالباً في المستويات الأعلى من فتحات نفخ الهواء ، حيث تزداد قاعدية الخبث عن مقدار قيمتها في الخبث النفاث .

(د) تأثير المواد المتطايرة : تتطاير بعض المواد كالرصاص والزنك ، إذا وجدت في شحنة الفرن ، (يجب تجنب وجودها ما أمكن) ، في درجات الحرارة العالية ، لتعود فتتكثف في مسام الطوب الحرارى في مناطق الفرن العليا ، حيث تنخفض درجة الحرارة نسبياً ، وتتأكسد هذه المواد بعد ذلك - بقدر محدود - فتسبب في زيادة حجم الطوب ، وبالتالي تؤدي إلى تفتيته .

(هـ) تأثير الاحتكاك : ويقصد به هنا احتكاك شحنة الفرن خلال هبوطها بالطوب المبطن له . ويظهر أثر ذلك أكبر ما يكون في مكان اصطدام الخامات المشحونة بجدران الفرن ، وما يحدث بجوانب الفرن عند هبوط الشحنتات . ولا يقتصر أثر ذلك على ما يسببه من أضرار بالطوب فقط ، ولكن يساعد هذا الاحتكاك على تآكل سطح الطوب ، وبالتالي زيادة تأثير القلويات والمواد المتطايرة والتحلل الكربوني ، نتيجة تجديد أسطح التلامس بين الطوب والغازات .

ولا تقتصر المؤثرات الضارة ببطانة الفرن على ما ذكر آنفاً ، ولكنها عديدة ومتشعبة . وخاصة ما يتعلق منها بطريقة تشغيل الفرن ، مثل عملية تجفيف مباني الفرن بعد بنائها ، وتكنولوجية إعداد خلطة غلى فتحة الحديد ، وما يصاحبها من تصاعد كميات كبيرة من البخار ، قد تؤدي إلى تصدع كبير في المباني ، ومنها أيضاً ما تتعرض له بودقة الصهر ومنطقة فتحات النفخ ، من درجات حرارة عالية .

ومن آثار التشغيل أيضاً ، ما يسببه خطأ توزيع الشحنة بالفرن ، فلو حدث وتجمعت أحجام الخامات الكبيرة إلى جوار جوانب الفرن ، فسوف يكون ذلك سبباً في انخفاض مقاومة اندفاع الغازات الصاعدة الساخنة ملازمة للبطانة ، وأثر ذلك بالتالى على حرارياتها ، بتعريضها إلى درجات حرارة أعلى من تلك المفروض وجودها تحت ظروف التشغيل العادية .

ولا يفوتنا في هذا المجال ، ذكر أثر تصميم الفرن الأصيل ، وأثر زيادة الطاقة الإنتاجية

للفرن ، وزيادة معدلات النفخ ، طمعا في زيادة الإنتاجية ، من أثر على أعمار حراريات الأفران .

اختيار الحراريات لبطانة الفرن العالي : بعد استعراض المؤثرات المختلفة التي تؤثر على الطوب الحراري المبطن للفرن ، ومع علمنا باختلاف الظروف المحيطة بالتشغيل في كل منطقة من مناطق الفرن ، والدور الذي تؤديه ، أصبح جليا ، أنه لا يتوافر نوع واحد من الطوب يصلح لمجابهة كل هذه المتطلبات . وعليه يتضح أن أفضل الحراريات لمنطقة ما بالفرن ، هي تلك التي تمتلك المقاومة الأكبر للمؤثرات الفعالة عند هذه المنطقة . ومن هذا المنطلق ، أمكن اختيار الحراريات المناسبة لكل منطقة بالفرن ، بما يحق ذلك الهدف كالاتي :

• **منطقة الحلق :** في هذه المنطقة ، تنخفض درجة حرارة الغاز نتيجة امتصاص الشحنة للقدرة الأكبر من كمية الحرارة الموجودة به ، كما تكون الغازات الصاعدة قد تخلصت من معظم المواد المتطايرة والقلويات التي تحويها ، وعليه ، لا تتأثر المباني بالمنطقة ، إلا بتصادم الشحنة لدى ارتطامها بجانب الفرن عند نزولها بعد فتح الجرس الكبير ، ولهذا يبطن الفرن في هذه المنطقة ، ولاارتفاع ما بين ١,٥ الى ٢,٥ متر ، بقطع من الحديد الزهر الهياتي ، يطلق عليها « بلاطات تسليح قة الفرن » .

منطقة المخروط العلوي :

تحيط بهذه المنطقة المؤثرات الآتية :

- ١ - احتكاك الشحنة أثناء هبوطها بجدران الفرن .
- ٢ - أثر تحلل أول أكسيد الكربون (التحلل الكربوني) .
- ٣ - تأثير الوعائات ك والرصاص .

ومن ثم يمكن تحديد نوع الطوب الذي يلائم متطلبات هذه المنطقة ، بأن تكون مقاومته للاحتكاك كبيرة ، ومساميته قليلة ، ولتحقيق ذلك ، يتحتم أن يصنع من خلطة متجانسة الحبيبات ، وأن تكون قوالب الطوب كلها ذات أبعاد متساوية وكبيرة ، وذلك للإقلال من حجم الفواصل بين طوب ، وبالتالي الإقلال من المون المستخدمة لربطها ، والتي تكون سهلة التأثير بأضرار المؤثرات الموجودة . كما أن خفض عدد الفواصل ، يؤدي إلى الإقلال من الأبخرة التي تتولد عند تحفيف البطانة عند بدء تشغيل الفرن ، ويقلل من تسببها في خلق

مسارات داخل مباني البطانة تسمح بدخول غاز الأفران بعد ذلك .

ورغم فائدة كبر حجم الطوب للمباني والرغبة فيه ، إلا أن صعوبة تجفيف هذه القوالب تماماً عند صنعها ، يسبب الكثير من متاعب التشغيل . مما دعا إلى إجراء أبحاث عديدة ، أدت إلى صنع الطوب حالياً من خلطة من مكونات تم تجفيف حوالي ٩٠٪ منها قبل التشغيل . ولهذا فائدة الإقلال من الرطوبة عامة بالقوالب ، وبالتالي خفض المسامية التي تسبب زيادة الرطوبة ، وما يتبعها من خروج بخار الماء عند التجفيف من خلق المسام بالقوالب ، الأمر غير المرغوب فيه كما سبق إيضاحه .

ويستخدم حالياً في بعض بلاد العالم ، وخاصة أمريكا ، طوب حراري تم استخلاص الهواء من مركباته من قبل ، يسمى « طوب خالي الهواء » .

ويحوي الطوب في هذه المنطقة نسبة من الألومينا تتراوح ما بين ٣٢ و ٣٧٪ من وزنه الكلي ، (تزداد نسبة الألومينا كلما بعد مكان الطوب عن قبة الفرن) ، والباقي سيليكا وأكسيد حديدك (٢ إلى ٢,٥٪) ، وأكسيد تيتانيوم (ت / ١) بنسبة ١,٨ إلى ٢,٣٪ ، والجير بنسبة ٠,٢٥٪ .

المخروط السفلي :

وتتعرض هذه المنطقة بالفرن إلى :

١ - درجات حرارة مرتفعة جداً .

٢ - التآكل بسبب الغازات .

٣ - الأثر الكيميائي للخبث القاعدي والقلوي .

ولهذا يجب أن يكون الطوب المستخدم هنا من النوع المصمت (لا يحوي مسام) بقدر الإمكان ، قادر على مقاومة الحرارة العالية . ونسبة الألومينا بهذا الطوب مرتفعة تصل حتى ٥١٪ . وأخيراً يجب أن تتوفر لهذا الطوب خاصية تحمل الضغط في درجات الحرارة العالية ، وأن تكون قابليته للانكماش والتدد أقل ما يمكن .

بودقة الصهر:

هذه المنطقة هي المنطقة التي تحوي الحديد والخبث المنصهرين ، وتعد هذه المنطقة أخطر مناطق الفرن عامة ، إذ تتعرض للظاهرة المعروفة « بتصدع بودقة الصهر » .

وهي أصعب ما يواجهه العاملون بالأفران العالية من حوادث .

ويمكن تلخيص أهم ما تتعرض له المنطقة في الآتي :

١ - درجات الحرارة العالية .

٢ - انكماش الطوب المبطن .

٣ - تأثير الخبث .

ويلاحظ في الحراريات المستخدمة في مثل هذا المكان من الفرن العالي ، أنها أنواع خاصة جداً من الطوب الحراري ، كطوب السيلياسينا ، وطوب السيليكا ألومينا ، التي يضاف إليها البوكسيت ، أو الدياسيور ، أو مواد أخرى تحوي نسبة عالية من الألومينا ، وذلك بهدف رفع نسبة الألومينا بها ، وحتى يمكن أن تكتسب الصفات الفيزيائية الضرورية .

وبسبب ارتفاع سعر الحراريات المصنوعة من الكربون ، بالإضافة إلى التقدم التكنولوجي الذي مكن من اكتشاف أي خلل ببطانة الفرن قبل حدوثه ، اتجهت بعض الدول ، وخاصة الاتحاد السوفيتي ، إلى استخدام الحراريات ذات الألومينا العالية ، في تبطين كل أجزاء الفرن ومقاطعها ، غير أنه وللخواص التي تتمتع بها الحراريات المصنوعة من الكربون - والتي سنذكرها فيما يلي - فإن استخدام حراريات الألومينا في منطقة بودقة الصهر والمخروط السفلي في معظم بلدان الكتلة الغربية وخاصة ألمانيا ، لا يزال محدوداً .

أهم مميزات الطوب الكربوني :

يمتاز الطوب الكربوني بالعديد من الخواص ، التي ترفع من مكانته عند المقارنة بينه وبين الطوب الحراري عالي الألومينا . وأهم هذه الخواص ما يلي :

(١) يتسامى الكربون في درجة حرارة عالية تبلغ 3900°C ، وبهذا يكون متماسكاً في

درجات حرارة التشغيل في الأفران العالية ، وخاصة عند مستوى فتحات نفخ الهواء .

(٢) تنكمش غالبية الحراريات المصنوعة من الطين في درجات الحرارة العالية بنسبة قد

تصل حتى ٧٪ عند درجة حرارة 1480°C ، بينما لا تتعدى نسبة الانكماش للطوب الكربوني

١ ، إلى ٠.٢٪ عند درجة حرارة 1900°C .

(٣) درجة توصيل الحرارة للطوب الكربوني أعلى منها بكثير عن نظيرتها بالنسبة

للطوب الحراري (تبلغ ١٠ أمثالها) ، وهي خاصية لها قيمتها في تكنولوجيا الأفران العالية ،

حيث لأنها تقلل كثيراً من احتياجات التبريد ، فيكفي تبريد السطح الخارجى للصاج المغلف للفرن ، لتحفظ البطانة الكربونية بدرجة حرارة مقبولة ، وبالتالي يقل احتمال تسرب المياه إلى داخل الفرن وتبريد محتوياته .

(٤) لا يتفاعل الكربون مع خبث الأقران العالية ، ولا مع القلويات التى توجد بالفرن ، وبهذا يتفوق فى هذا المجال عن الطوب الحرارى .

(٥) للطوب الكربونى قوة تماسك عالية فى درجات الحرارة المنخفضة ، ترتفع بارتفاع درجة حرارته إلى مرة ونصف ، هذا بالإضافة إلى مقاومة كبيرة للاحتكاك (يتحمل الطوب ضغط يعادل ٣,٥ كجم لكل سم^٢ عند درجة حرارة ١٧٠٠° م) ، وبذلك فهو ينى باحتياجات التشغيل التى تتطلب قوة تماسك عالية فى درجات الحرارة الأعلى من ١٤٨٠° م .

(٦) يمكن استعمال بعض الطوب الكربونى مرة أخرى عند إعادة تبطين الفرن ، بينما يكاد يكون ذلك مستحيلاً بالنسبة للطوب الحرارى . وكما يمكن استخدام الطوب الكربونى فى عمل خلطات الدك المختلفة .

(٧) نظراً لقوة احتمال الطوب الكربونى ، فإنه يمكن إعادة تبطين الجزء العلوى من الفرن ، وترك الأماكن المبطنة بالطوب الكربونى بأسفله ، بعد انتهاء عمر البطانة التشغيل الأولى . وبذلك تقل تكاليف إعادة التبطين عنها فى حالة استخدام الطوب الحرارى ، مع إعادة تبطين كل مناطق الفرن .

(٨) يلاحظ انخفاض درجة حرارة المباني أسفل الفرن (تحت مستوى فتحة الحديد) فى حالة التبطين بالطوب الكربونى ، عنها فى حالة التبطين بالطوب الحرارى ، وبذلك يمكن تحاشي التجهيزات الإضافية للتبريد بالهواء لهذه المناطق ، والمستخدم فى حالة التبطين بالطوب الحرارى .

وهناك آراء عديدة تطالب بتعميم تبطين الفرن فى جميع المناطق باستخدام الطوب الكربونى ، وحتى تتاح ظروف أفضل لا تتظام هبوط الشحنة ، ولمقاومة الاحتكاك . إلا أن ذلك لم يتم عملياً .

وباستعراض هذه الخواص المختلفة ، يتضح مدى ملاءمة الطوب الكربونى لتبطين منطقة بودقة الصهر والمخروط السفلى بالفرن ، وبهذا يمكن الإقلال ، إلى حد كبير ، من حوادث تصدع بودقة الصهر . ذلك أن أحجام الطوب الكربونى الكبيرة التى تصل إلى (٦٠ × ٧٠ × ٤٥ سم) ، وبوزن يصل حتى ٣ أطنان للطوبة الواحدة يسهل من عملية التبطين التى

يراعى خلالها اختلاف محاور كل طبقة من طبقات المباني ، حتى لا تتأثر اثنتان منها في اتجاه واحد . وبالتالي تقلل من إمكانية تسرب المعدن أو الخبث خلالها والإضرار بها . ولقد أمكن صقل جوانب الطوب إلى درجة عالية ، بحيث لا يمكن إمرار شفرة الحلاقة بين طوبة وأخرى ، وبحيث تبني أحياناً بدون استخدام أى مادة رابطة بينها . ونظراً لعدم تبلل سطح الكربون بالمعدن أو تفاعلها ، يقل احتمال تكوين بؤرة للحديد السائل في قاع الفرن ، والتي تسبب العديد من المشاكل عند إعادة تبطين الفرن مرة ثانية .

أما بقية أنواع الحرارية المستخدمة في الوحدات المساعدة للفرن العالى ، كالمسخنات ، أو مواسير نفخ الهواء اللافح ، أو في تبطين المجارى ، وكذا أنواع الخلطات الحرارية المستخدمة بين الطوب الحرارى المبطن للفرن وصاج التغليف في المناطق المختلفة ، وتلك المستخدمة في إغلاق فتحة الحديد أو تبطين مجارى الحديد ، فسيتم الحديث عنها في الأبواب القادمة ، كلما عرض لذكر كل منها .

الباب الرابع

الوحدات المساعدة للأفران العالية

تعمل مع الأفران العالية ، العديد من الوحدات المساعدة الهامة والتي تمكنها من أداء مهمتها . ونقدم فيما يلي وصفا موجزا لهذه الوحدات ، ويجب أن لا يقرن الإيجاز في الوصف بمدى أهمية وفاعلية هذه الوحدات ، وإنما يدعو لذلك الإيجاز ، هدف الى تبسيط المعلومات للقارئ ، فلكل وحدة من هذه الوحدات العديد من المؤلفات المتخصصة ، التي تتعرض لها بتفاصيل التصميم وشرح النظريات التي توضح عملها ، وتحدد لها مؤشرات الأداء ، وبرامج الصيانة والتشغيل .

وتشمل الوحدات المقصودة هنا الوحدات التالية :

- ١ - وحدة نفخ الهواء .
- ٢ - وحدة مسخنات الهواء .
- ٣ - وحدة تنقية الغازات .
- ٤ - وحدة أحواش التشوين وصوامع الخامات .
- ٥ - وحدة معالجة وتصنيع الخبث .
- ٦ - وحدة ماكينة صب الزهر .
- ٧ - وحدة طواحين إعداد الطينة الحرارية .

١ - وحدة نفخ الهواء :

يحتاج إنتاج الطن من الحديد الزهر بالفرن العالي ، لمحوالى ٣,٨ أطنان من الهواء ، ويختلف ذلك تبعا للعديد من المؤثرات المتعلقة بنوعية الكوك والخام المستخدمين ، ونوع الحديد الزهر المنتج ، إلخ . . وعموما ، وبسبب ما ترتب على زيادة الطاقة الإنتاجية للأفران الحديثة ، فقد تحدد مدى استهلاك الهواء بالأفران الصغيرة بمقدار ٢,٤ متر مكعب لكل دقيقة لكل متر مكعب من حجم الفرن الكلى ، وبمقدار ٢ متر مكعب لكل دقيقة لكل متر مكعب من حجم الفرن الكلى ، فى حالة الأفران الكبيرة .

وبمراعاة التوسع فى القدرات الإنتاجية للأفران الحديثة (٦٠٠٠ إلى ٨٠٠٠ طن / ٢٤ ساعة) ، ولضمان الحصول على الكميات الهائلة اللازمة من الهواء ، تستخدم ماكينات خاصة

تسمى « النفاخات » تقوم بسحب الهواء الجوى ودفعه في مواسير إلى الأفران العالية . ولقد تعددت أنواع هذه النفاخات من حيث التصميم ، فمنها النوع المعروف « بالبستم » وكذا النوع المعروف « بالروتير الدائر » . ويتم إدارتها جميعها بتوربينات تعمل بالبخار ، أو بالغاز ، أو بموتورات كهربائية . كما أن منها الأنواع الرأسية أو « الأفقية » أو « الرأسية الأفقية »

وحيث إن ظروف التشغيل بالأفران العالية ، تحتم ضرورة إمداد الأفران بوزن معين ثابت من الهواء للوحدة الزمنية دواما ، مهما كانت الضغوط المضادة الناجمة عن زيادة الضغوط داخل الأفران ، فلقد روعى ذلك عند تصميم هذه الماكينات ، وذلك عن طريق منظمات خاصة تسمى « منظمات الحجم الثابت » التى تكفل الحصول على حجم ثابت للهواء دواما ، حسب المحدد والمطلوب ، دون ارتباط بضغط الهواء الجوى ، أو الضغط المضاد . وعموما ، فالاشتراطات اللازم توافرها للنفخات كالاتى :

١ - أن تكون طاقتها الإنتاجية ثابتة ومستمرة ، وأن يكون تغير هذه الطاقة بتأثير الضغوط المضادة فى أضيق الحدود .

٢ - أن يكون مجال السيطرة على قدرات النفاخات الإنتاجية واسعا ، ويعنى ذلك أن اختلاف درجات حرارة الهواء الجوى وضغطه ، يجب أن لا يعوقا توفير الحجم اللازم من الهواء ، ويمكن حساب ذلك فى كل حالة حسب العلاقة التالية :

$$ح ١ = ح ٢ \times \frac{ص ٢ \times ٢٧٣}{٧٦٠ (د + ٢٧٣)}$$

حيث :

ح ٢ حجم الهواء المنفوخ تحت الظروف المثالية (ج . ش . د .)
ح ٢ حجم الهواء المنفوخ تحت الظروف الحقيقية (ح ٢ . ض ٢ . د ٢)
ض ٢ ضغط الهواء المنفوخ مم زئبق .
د درجة حرارة الهواء م°

وتتحدد قدرة المنفاخ بالنسبة لحجم الفرن الذى يعمل معه ، بحيث تضمن إمداد الفرن بكمية الهواء المناسبة التى لا تسبب هبوط الشحنة فجأة أو تعليقها ، كما تنى بشرط تشغيل المنفاخ اقتصاديا .

وتحسب كمية الهواء اللازمة - بصورة تقريبية - باعتبار أن كل طن من الحديد الزهر المنتج يحتاج إلى ٢٨٨٠ مترا مكعبا من الهواء تحت الظروف المثالية شتاء أو صيفا ، وبالتالي تحدد قدرة المنفاخ تبعا لأقصى إنتاج مطلوب ، مع إضافة تبلغ ٨ إلى ٢٠٪ من القيمة المحسوبة لمواجهة الفواقد ، عند تقادم الفرن ومواسير توصيل الهواء .

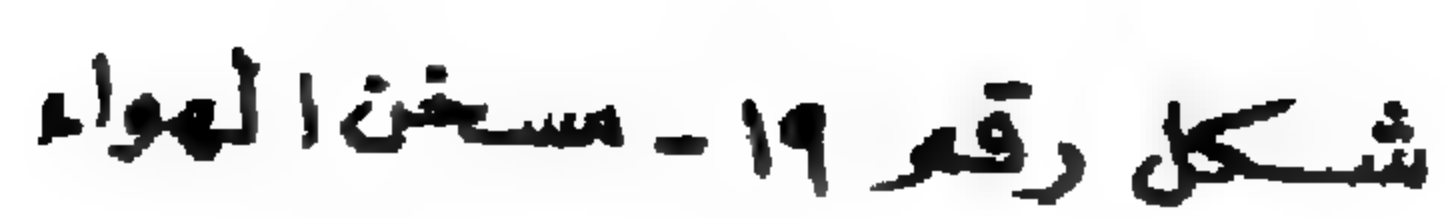
ومن المعروف أن نسبة الرطوبة في الهواء الجوى تؤثر في القدرة الإنتاجية للمنفاخ ، ولهذا جهزت بعض المصانع في الأماكن التى ترتفع فيها هذه النسبة ، بمعدات لتخليص الهواء من الرطوبة العالقة به ، وحفظ نسبتها عند قدر معين (٥٪ تقريبا) .

(٢) وحدة مسخنات الهواء :

بدأ التفكير في تسخين الهواء الداخل إلى الفرن منذ وقت طويل ، غير أنه لم ينفذ بطريقة علمية إلا في عام ١٨٣٠ م . وقد تم ذلك بالسماح للهواء البارد بالمرور في مواسير تسخن بالحرارة الناجمة من حرق الفحم ، وأمكن بذلك رفع درجة حرارة الهواء حتى ٤٠٠ إلى ٤٥٠ °م فقط ، ولم يك ممكنا - في ذلك الحين - رفع درجة حرارة الهواء لأكثر من ذلك ، للأضرار التى كانت تصيب المواسير .

وفي عام ١٩٥٧ ، بنى أول مسخن باستخدام الطوب الحرارى ، وكان عبارة عن غرفة مغلقة بها فتحة في أعلاها ، وأخرى في مستوى مرتفع من الجدار ، واثنين في أسفل الجدران ، تتصل إحداها بغرفة احتراق ، يجرى احتراق الفحم بها ، ثم توجه الغازات ناتج الاحتراق إلى غرفة المسخن ، لتخرج من الفتحة العليا . ويستمر ذلك حتى ترتفع درجة حرارة طوب الجدران إلى قدر معين ، عندئذ تغلق الفتحتان المستخدمتان ، وتفتح الفتحتان الأخريان ، ليدخل الهواء البارد من الفتحة السفلى التى بجدار المسخن ، ويلامس الطوب الساخن فترتفع حرارته ، ويخرج من الفتحة الجانبية في أعلى الجدار ، ومنها إلى الفرن ، وهكذا ، حتى تنخفض حرارة الهواء الخارج إلى الفرن ، فتعاد الدورة وهكذا .

كان ذلك في الحقيقة هو أول حلقة من سلسلة تطوير وتحسين أداء المسخنات ، حتى أخذت شكلها المعروف حاليا . وهو عبارة عن أسطوانة من الصاج سمك ١٠ مم في أعلاها إلى ٤٠ مم عند نهايتها السفلى . يتراوح ارتفاعها ما بين ٢٠ ، ٤٠ مترا ، وقطرها يتراوح من ٥ إلى ٦ أمتار ، تنتهى في أعلاها بقبة دورانية ، (الشكل ١٩) .



. وتحدد الأبعاد الرئيسية للمسخنات على أسس محددة تعتمد على تكنولوجيا التشغيل ،
التي يمكن تلخيصها في الآتي :

- ١ - النظريات الحرارية وانتقال الحرارة ودراسة التيارات الهوائية ، الخ .
- ٢ - نسبة الغاز للهواء المستخدم للاحتراق .
- ٣ - الاحتراق الكامل للغاز المستخدم في التسخين .
- ٤ - مساحة سطح الطوب المستخدم ، بما يضمن امتصاص الحرارة الناجمة من احتراق
غازات التسخين ، وبالتالي رفع درجة الهواء الداخل للمسخنات إلى الدرجة المطلوبة
للتشغيل بالأفران .

وينقسم المسخن إلى قسمين : قسم بيضاوي الشكل يسمى « غرفة الاحتراق » ، والجزء
الباقى المكمل لشكل الأسطوانة ، الذى يبنى بطوب حرارى متشابك ، له أشكال هندسية
مختلفة ، يوضع فى صفوف متتالية بعضها فوق بعض ، بحيث تكون الفراغات الموجودة
بالطوب ممرات رأسية عديدة ، تكون أسطحها المساحة المعرضة للتسخين ، والتي تعتبر
المؤشر الدال على قدرة المسخن الإنتاجية ، وتتوقف عليها كفاءته .

وتحدد مساحة السطح هذه فى الاتحاد السوفيتى بمعدل ٦٠ م^٢ لكل متر مكعب من حجم
الفرن النافع ، بينما تحددها الدول الغربية بمقدار ٤٠ إلى ٥٠ م^٢ . وقديما كانت أبعاد هذه
الممرات كبيرة . غير أن استخدام المراوح لإمداد المسخنات بهواء التسخين فى عام ١٩٢٠ ،
والذى مكن من زيادة كمية الغاز المستخدم للتسخين ، وبالتالي زادت سرعة التسخين ،
بالإضافة إلى إمكان رفع كفاءة وحدات تنقية الغازات نسبيا ، قللا أبعاد الممرات ،
فأصبحت تبلغ حاليا ٧٠ إلى ١٥٠ مم فقط ، الأمر الذى ساعد على زيادة سرعة الهواء ،
وبالتالى القضاء على تكون طبقات الهواء الثابتة اللامسة لأسطح الطوب ، مما أدى إلى
تحسين تسخينه ، وبالتالي رفع كفاءة المسخنات .

وتؤثر كفاءة تشغيل وحدات تنقية الغازات ، وما يستتبعها من إقلال لكمية الأتربة المتبقية
فى الغازات المستخدمة بالمسخنات ، على رفع قدرة الأخيرة وزيادة كفاءتها .
ذلك أن هذه الأتربة تتجمع فى فتحات الطوب الشبكي وتغلقها نسبيا ، وبالتالي تؤثر على
سرعة الغازات ، ناتج عمليات الاحتراق المستخدمة للتسخين ، فتقلل الوقت المتاح للتلامس
وانتقال الحرارة من الغازات إلى الطوب ، وبالتالي تخفض كمية الحرارة المكتنزة به ، والتي

تسبب إطالة وقت التسخين . كما تشكل هذه الأتربة ، طبقة عازلة بين الطوب والغازات الساخنة الصاعدة ، مما يقلل من كفاءة التسخين . وهذا الأمر قد سبب عدم إمكان الإقلال من مساحة فتحات الطوب الشبكي عن الحد المين عاليه ، خوفا من انسدادها . وكثيرا ما تتوقف المسخّنات لعمليات تنظيف فتحات الطوب الشبكي من مخلفات أتربة الغازات .

وبالإضافة إلى ما ذكر آنفاً ، فإن ما تسببه هذه الأتربة عند تراكمها في مناطق المسخن المرتفعة الحرارة ، من تكوين لطبقة منصهرة عازلة (لا انخفاض درجة حرارة انصهارها) ، تؤدي إلى إغلاق سطح الطوب الشبكي المعرض للتسخين ، وتقلل من كفاءته ، وقد تسبب أحيانا في تفتيته وتشققه .

لكل ذلك ، فإن الغازات المستخدمة في المسخّنات ، يجب أن لا تحوى أكثر من ٠.٥ جم لكل متر مكعب .

وتتدرج أبعاد فتحات الطوب الشبكي في الازدياد ، كلما ارتفع المنسوب داخل المسخن ، حتى يتلاءم ذلك وزيادة حجم الهواء بالتسخين ، وكذا للمساعدة في خروج الهواء الساخن من المسخن ، وإلا تسبب ذلك في ضغوط مضادة على وحدات النفخ .

ونظرا لاختلاف ظروف التشغيل والحرارة لكل منطقة من مناطق المسخّنات ، يبنى المسخن بطوب حرارى في مجموعات ، تلائم خواص كل مجموعة منها الظروف المحيطة بها ، فلجوانب غرفة الاحتراق والطوب الشبكي ، يستخدم الشاموت الذى تزداد نسبة الألومينا فيه تدريجاً ، مع ارتفاع الحرارة من أسفل إلى أعلى المسخن . أما القيمة المغلقة لأعلى المسخن ، فتبنى من طوب السيليكا ، لمقاومته للحرارة العالية بسبب ارتفاع مقاومته للتميع ، رغم احتمال تعرضه للكسر وللشروخ عند تحول السيليكا من التريدميت إلى الكريستوباليت عند درجة حرارة ٥٦٠° م تقريبا ، الأمر الذى يدعو إلى الاحتياط عند بدء تسخين المسخن في بدء تشغيله فقط - حيث إن درجة حرارة القبة تظل دواما بعد ذلك ، خلال عمل المسخن أعلى من هذه الدرجة .

وتفصل بين الطوب الحرارى المبطّن للمسخن والصاج المغلف له ، طبقة من الطوب العازل للحرارة ، بسمك يتراوح ما بين ٦ و ١٢ سم . ويفصل بين مباني القبة والطوب العازل فراغ يبلغ من ٣٠ الى ٥٠ سم يسمح بتمدد الطوب .

ويرتكز الطوب الشبكي على قواعد من الصلب المقاوم للحرارة والصدأ ، ترتكز بدورها على قاعدة المسخن الخزسانية . وتستعمل في المسخن الواحد ، حسب حجمه ، كمية من الطوب الحرارى تبلغ ٨٠٠ إلى ١٤٠٠ طن . ومن المعروف أن زيادة وزن الطوب تمكن من حفظ كمية كبيرة من الحرارة . وعموما تتلخص الخواص اللازم توافرها في طوب المسخنات ، في القدرة على تحمل درجات الحرارة العالية ، وانخفاض المسامية ، وقوة الاحتمال للتغيرات في درجات الحرارة .

ويجهز كل مسخن بخمس فتحات (شكل ١٩) ، يركب على كل منها صمام (بلف) محكم ، يختلف تصميمه حسب موضعه ، مهمته إحكام إغلاق الفتحة المركب عليها في حالة عدم استخدامها . وهذه الصمامات هي :

- (أ) صمام الهواء البارد الآتى من محطات النفخ . (مدخل الهواء الداخل إلى المسخن) .
- (ب) صمام الهواء الساخن (مخرج الهواء اللافح إلى الفرن) .
- (ج) صمام العادم . . . (مخرج الغازات الناتجة من الاحتراق) .
- (د) صمام هواء الاحتراق . . . (اللازم لإشعال الغازات وحرقتها) .
- (هـ) صمام غاز الاحتراق . . . (لإدخال الغازات اللازمة للحريق) .

تشغيل المسخن :

تتكون دورة تشغيل المسخن من مرحلتين :

١ - مرحلة الإعداد أو التسخين .

٢ - مرحلة النفخ .

وتستغرق الدورة الكاملة ما بين ساعة وساعتين ، حسب درجة الحرارة المطلوبة للهواء اللافح ، وحسب مساحة سطح المسخن ، وحسب عدد المسخنات الملحقة بالفرن ، وأخيرا حسب ظروف تشغيل الفرن .

(١) مرحلة الإعداد أو التسخين :

تبدأ مرحلة الإعداد أو التسخين ، بأن يفتح صمام العادم الموصل إلى المدخنة ، الذى يفتح على مرحلتين ، لتفريغ المسخن مما به من هواء ، عن طريق سحبه خلال المدخنة ، ثم يتبع ذلك بفتح صمام هواء الاحتراق ، وأخيرا صمام الغاز . وتضبط كمية الغازات المحترقة ، وكمية الهواء التى تكفل الاحتراق الكامل لها ، وهما مرتبطان أوتوماتيكيا . ومع مرور

الوقت ، تزداد كمية الهواء والغازات المستخدمة ، وتزداد نسبة الهواء الإضافية - زيادة عن المقدار اللازم للاحتراق الكامل للغازات - عن طريق منظمات خاصة ، حتى تصل درجة حرارة طوب قبة المسخن إلى درجة معينة ، (١١٥٠ إلى ١٢٠٠ °م) . ومع ارتفاع درجة حرارة طوب المسخن ، ترتفع درجة حرارة الغازات الخارجة من صمام العادم (ناتج الاحتراق) ، وتبلغ ٢٠٠ إلى ٢٥٠ °م عادة عند الوصول إلى نهاية المرحلة . ويكون المسخن عند الحد ، قد استنفد كمية الهواء الإضافية والتي تبلغ نصف كمية الهواء المستخدمة عند بدء التسخين . عند ذلك يتم إيقاف التسخين ، وتغلق البلوف المفتوحة في اتجاه عكس المذكور آنفاً ، وبهذا تنتهى مرحلة الإعداد أو لتسخين .

(٢) مرحلة النفخ :

تبدأ مرحلة النفخ مباشرة . بعد انتهاء التسخين - في العادة - حيث يفتح بلف الهواء البارد ، حتى يملأ المسخن بالهواء ، ويتساوى ضغط الهواء داخل المسخن مع الضغط الخارجى الواقع على صمام (بلف) الهواء الساخن (من ماسورة الهواء الساخن) ، ثم يفتح الأخير ليسمح بمرور الهواء الساخن من المسخن إلى ماسورة الهواء الساخن إلى الفرن

في مرحلة النفخ بالتسخين ، تنتقل الحرارة من الطوب إلى الهواء ، إما بالتلامس ، وإما بالإشعاع ، وإما بالتوصيل . ولهذا تحدد كمية الهواء الداخلة للمسخن ، بما يحقق الهدف المنشود ، حيث إن كمية الهواء الأقل تتولد عنها طبقة تكاد تكون ثابتة بجوار الطوب لا تتحرك ، وبالتالي تؤثر على توصيل الحرارة إلى الطبقات الأخرى إلى الداخل . كما أن زيادة كمية الهواء ، بسبب زيادة سرعته خلال المسخن ، وبالتالي إقلال وقت التلامس مع الطوب . بالإضافة إلى ما تسببه زيادة سرعة الهواء ، من منع لتكوين الدوامات الهوائية التي تساعد في تسخين الطوب .

ونظراً لأن الفرن يعمل بدرجة حرارة ثابتة للهواء اللافح عادة ، وأنه مع بدء النفخ خلال المسخن بعد تسخينه مباشرة تكون درجة حرارة الهواء اللافح - غالباً - أعلى من المطلوبة ، فلقد تم توصيل ماسورة للهواء البارد من محطة النفاخات ، يحكمها صمام متحرك (بترفلای) ، يسمح بإدخال كمية من الهواء البارد ، تختلط بالهواء الساخن الخارج من المسخن ، ليكون لنتائجها درجة حرارة تساوى درجة الحرارة المطلوبة . ومع استمرار النفخ

وانخفاض درجة حرارة الطوب داخل المسخن ، وبالتالي انخفاض حرارة الهواء الخارج منه ، يخلق البلف المتحرك على ماسورة الهواء البارد تدريجاً ، حتى نهايته ، وبالتالي يمنع السماح لأي هواء بارد بالمرور ، ويكون ذلك بمثابة الإشارة إلى نهاية مرحلة النفخ ، وضرورة إعادة التسخين ، فيمنع النفخ وتبدأ دورة التسخين وهكذا .

ويجهز كل فرن عادة بمسخنين أساسيين ، وثالث احتياطي لهما ، أو أربعة في حالات الأفران الكبيرة ، وللحاجة إلى درجات الحرارة العالية ، الأمر الذي يمكن من زيادة فترة مرحلة التسخين بالقياس إلى مرحلة النفخ . وعليه فبمجرد إغلاق زاوية الخلط بالمسخن العامل ، يبدأ فوراً في تشغيل المسخن الآخر الذي تم تسخينه ، ولا يسمح بتوقف المسخن العامل أبداً ، إلا بعد بدء العمل بالمسخن الثاني ، والتأكد من سلامته ، وعدم وجود أي خلل به .

ونظراً لحساسية تشغيل المسخنات ، وأثرها الاقتصادي المباشر على الأفران ، ولخطورة طبيعة العمل ، تجهز غرفة مراقبة المسخنات - أو غرفة مراقبة الفرن - بالعديد من الأجهزة والمقاييس ، التي توضح للعاملين كل المراحل المختلفة ، والتي قد تربط كل منها بالأخرى أوتوماتيكياً .

ولكل مسخن بهذه الغرفة ، الأجهزة التالية :

- ١ - جهاز قياس وتسجيل لدرجة حرارة الهواء الساخن الخارج من المسخن .
- ٢ - جهاز قياس وتسجيل لدرجة حرارة العوادم .
- ٣ - جهاز قياس وتسجيل لدرجة حراريات القبة .
- ٤ - جهازان لقياس وتسجيل كمية الغاز ، وكمية الهواء في مرحلة التسخين .
- ٥ - جهاز لتحديد كمية الغاز إلى كمية هواء الاحتراق (محدد بنسبة ١ إلى ١,٥ مثلاً) .
- ٦ - جهاز يبين كمية الهواء الإضافية ، و الذي يبدأ عمله بعد وصول القبة أقصى درجة حرارة مسموح بها .

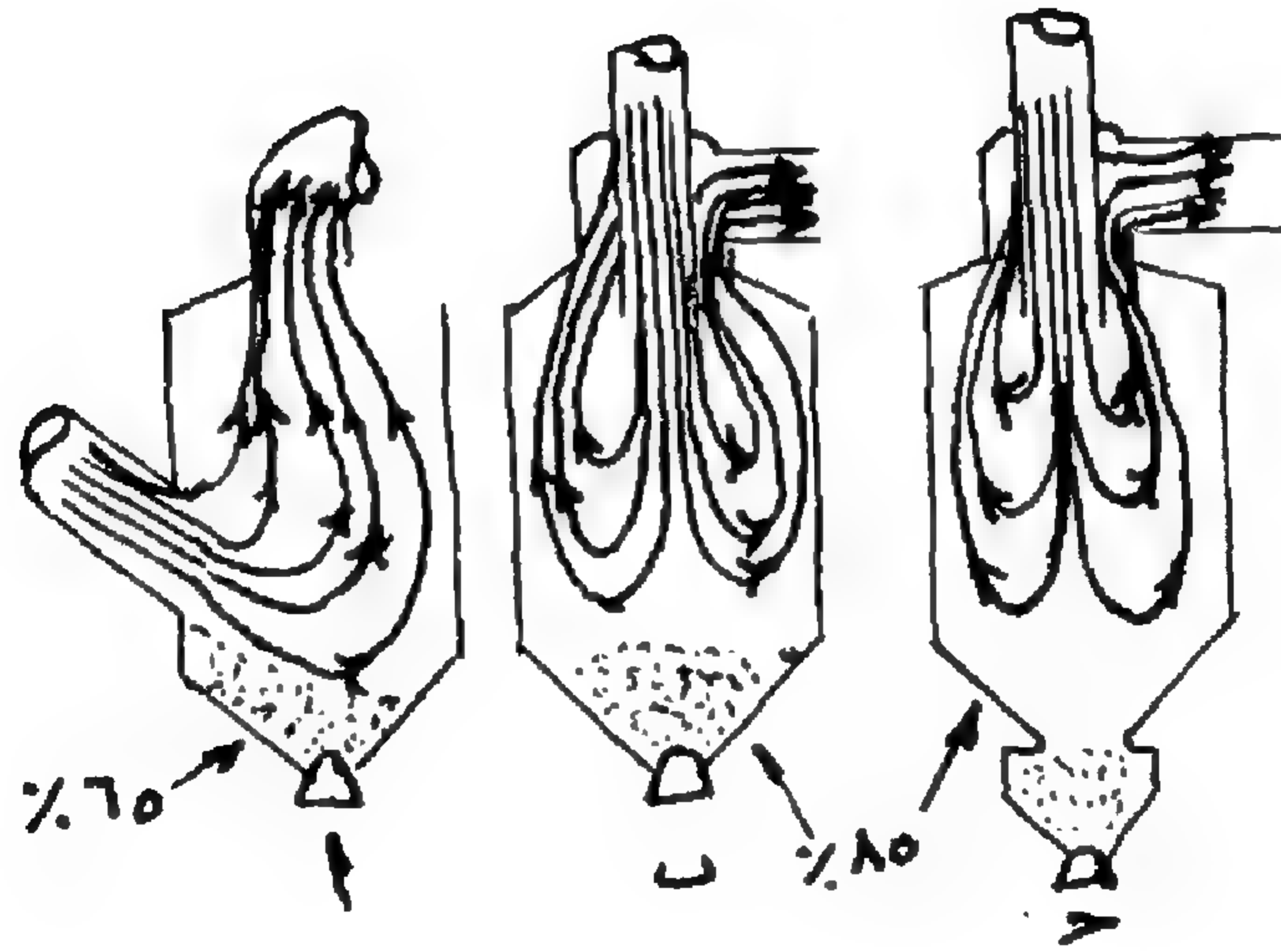
أما الأجهزة الموجودة الخاصة بمراقبة الأفران والتنسيق معها ، فهي :

- ١ - جهاز يقيس ويسجل درجة حرارة الهواء الداخل للفرن (بعد خلطه بالهواء البارد) .
- ٢ - جهاز يقيس ويسجل كمية الهواء الداخلة للفرن .
- ٣ - جهاز يبين ضغط الهواء البارد .

٤ - جهاز يبين مقدار زاوية فتح بلف هواء الخلط .

أجهزة إضافية :

- ١ - جهاز يبين ضغط الغاز في شبكة الغاز التنظيف بالمصانع .
- ٢ - أجهزة اتصال مباشرة بوحدات نفخ الهواء ومحطة الغازات وبالأفران والمصانع .
ويجهز كل مسخن بفتحتين في أسفل جدران غرفة الاحتراق ، وبفتحة أخرى في غرفة الطوب الشبكي ، وأربع فتحات في أعلى قبة المسخن تحت القبة ، لا استخدامها في عمليات التنظيف والترميم للبطانات ، والكشف الدوري على الحراريات .



شكل رقم ٢٠ - يبين كيفية تنقية الغازات من الأتربة
بمجمعات وحلزونيات الأفران - تنقية حافة
والغلاية كفاءة كل نوع بالدقائم

٣ - وحدة تنقية غازات الأفران العالية :

تخرج الغازات من أعلى الفرن العالى ، حاملة معها كميات كبيرة من الأتربة ذات الأحجام الناعمة ، التى يمكن للغازات ، فى اندفاعها خارج الفرن ، أن تحملها . وتتكون هذه الأتربة من خليط من خام الحديد ، والحجر الجيرى ، والكوك ، والمشحونات الأخرى . وتختلف أحجام هذه الأتربة من بضع ميكرونات حتى ٢ مم ، وربما أكبر ، تبعاً لقيمة ضغط غاز الأفران .

وحيث أن هذه الغازات تترك الأفران بدرجة حرارة تتراوح ما بين ١٥٠ و ٣٠٠ م ، وهى بتكوينها الكيميائى ، تحوى نسبة من غاز أول أكسيد الكربون تبلغ ٢٧ إلى ٣٠ ٪ ، أى أنها تحوى طاقة حرارية كبيرة تقدر بحوالى ٤٥ إلى ٥٠ ٪ من إجمالى الطاقة الحرارية للكوك المشحون بالأفران ، ونظراً للصعوبات العملية التى تسببها هذه الأتربة عند عمليات احتراق غازات الأفران لذا ينبغى تنقية هذه الغازات من الأتربة العالقة بها .

وتتم عملية التنقية هذه فى خطوات متعاقبة ، تتم كلها بوحدة « تنقية الغازات » الملحقه بالأفران العالية . ونظراً لتباين أحجام الأتربة العالقة ، وللوصول إلى درجة التنقية المطلوبة للغازات ، فلقد قسمت العملية الى مرحلتين :

١ - التنقية الأولية أو المبدئية .

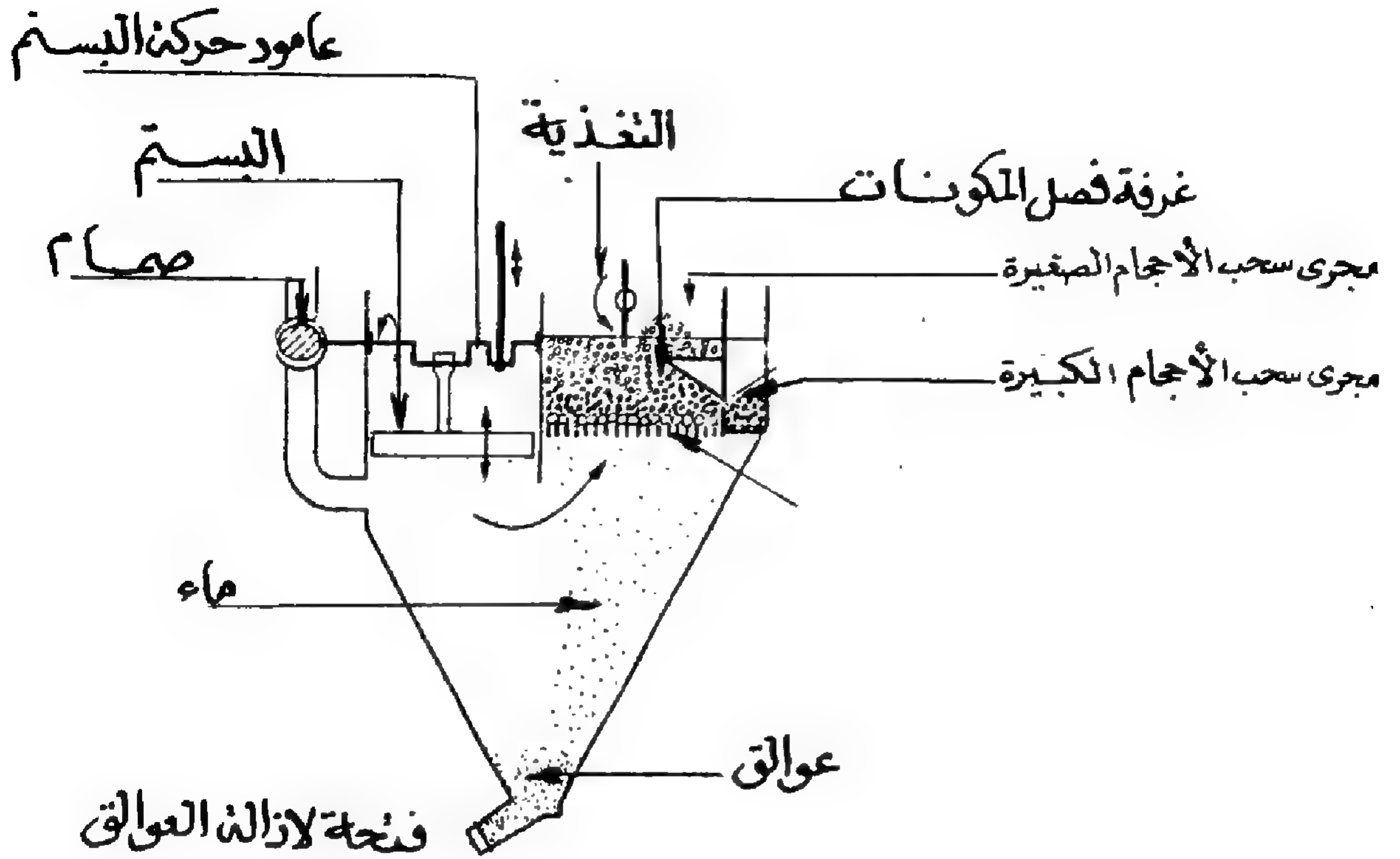
٢ - التنقية الدقيقة .

١ - التنقية الأولية أو المبدئية :

ويتم فى هذه المرحلة تنقية الغازات باستخدام طرق جافة ، حيث يتم فصل حوالى ٩٠ ٪ من كمية الأتربة الاجمالية فى الغازات الخارجة من الفرن . وتستخدم فى هذه المرحلة المعدات التالية :

(١) مجمع الأتربة :

وهو عبارة عن جسم أسطوانى من الصاج ، (شكل ٢٠) ، بقطر ٦ إلى ٨ أمتار ، مغلق بمخروطين من أعلاه ومن أسفله ، ويبلغ ارتفاعه ما بين ١٠ إلى ١٥ متراً ، يجهز فى أسفله فى نهاية المخروط ، بفتحة لسحب الأتربة المتجمعة فيه مباشرة ، أو عن طريق مكثة سحب خاصة . وينتهى المخروط فى أعلاه ، بشكل أسطوانى به فتحة جانبية لخروج الغازات بعد تنقيتها . وباستخدام جرس من الزهر الهياتيق ، يمكن إغلاق هذا الجزء الأسطوانى ، وبالتالي



شكل رقم ٢١ - جهاز فصل مكونات الخامات حسب وزنها

فصل الفرن عن شبكة غازات المصانع • وتدخل الغازات إلى المجمع عن طريق فتحة جانبية، هي نهاية ماسورة التجميع لمواسير مآخذ الفرن (البنطلون) .

وتبنى نظرية العمل بمجمع الأتربة، على الأثر الذى يخلفه تغير اتجاه الغازات أو انعكاسه، مع الإقلال من سرعتها نتيجة تعرضها لزيادة مفاجئة فى حجم المكان الذى تشغله، من خفض لقدرتها على حمل الأتربة، وبالتالي تساقط هذه وتجميعها بأسفل المجمعات .

وتجهز مجمعات الأتربة بصمامات أمن « تسمى بوابات الانفجار »، تفتح تلقائياً عند بلوغ الضغط داخل المجمع قدراً معيناً، بحيث تسمح بخروج دفعة من الغازات، ثم تعود إلى وضعها الأصلى تلقائياً، وذلك تحاشياً للأضرار التى قد تنجم عن زيادة الضغط، دون إيجاد وسيلة لتخفيفه . كما تجهز المجمعات بفتحات أخرى لطردهم الغازات (عادة فى أعلاها)، لا استخدامها عند فصلا أو ربط المجمع بشبكة الغازات، مع بدء تشغيل الفرن عقب فترة توقف طويلة، أو عند إجراء الصيانات أو العمرات به .

وقد يبطن المجمع بطوب حرارى حماية له، ووقاية من درجات حرارة الغازات العالية، غير أن هذا الاتجاه قد قل أخيراً، لعدم الحاجة إليه مع درجات الحرارة الحالية للغازات . وتركب عادة رشاشات بخار أو مياه على مآخذ التراب، أو بداخل المجمع، غير أن ذلك يسبب العديد من المشاكل، بسبب تكون طبقة من الطين الجاف على جوانب المجمع أحياناً، تغلق جزءاً منه، وقد تتسبب فى توقفه .

ويحدد حجم مجمع الأتربة بما يتناسب وحجم الأتربة الممعة، وبحيث لا تتعدى سرعة الغاز داخله ٠,٨ متر لكل ثانية . ونظراً لطبيعة عمل المجمع، والهدف منه، ونظرية تشغيله، فيمكن أن يأخذ مخرج الغاز أو مدخله أحد الأشكال المحددة بالشكل (٢٠) .

(ب) الحلزونات :

تغادر الغازات مجمع الأتربة، حاوية بعض الأتربة ذات الأحجام التى لم يتم فصلها فيه، ولهذا فإن غالبية مصانع العالم تجهز وحدة التنقية بها بما يسمى « الحلزونات »، الشكل (٢١) . وهى عبارة عن جسم أسطوانى بقطر من ٣ إلى ٤ أمتار، وارتفاع من ١٠ إلى ١٢ متراً .

وتعتمد نظرية تشغيل الحلزونات - كالمجمعات تماما - على خفض قدرة الغازات على حمل ما بها من عوالق عند تغيير مسارها ، أو خفض سرعتها . وعليه تدخل الغازات من فتحة جانبية بأعلى الحلزون ، ملازمة لسطحه الداخلى ، فتأخذ حركة دورانية تقلل من سرعتها وطاقتها على حمل أحجام من الأتربة فوق حجم معين ، وبذا تنفصل هذه عن الغازات التى تخرج بدورها عن طريق ماسورة أسطوانية متركزة فى منتصف الحلزون ، إلى خارج الحلزون ، ليعاد إدخالها فى حلزون آخر ، ليعاد عليها إجراء نفس العملية .

وتغادر الغازات الحلزون الأخير ، حاملة معها قدرا من الأتربة والعوالق تحوى تقريبا ٤ م لكل م^٣ ، وهو قدر أعلى من المسموح بوجوده فى الغاز النقى ، وبالتالي تدخل الغازات إلى مرحلة التنقية الدقيقة .

٢ - التنقية الدقيقة :

تحدد كمية العوالق بالغاز النقى ، بمقدار لا يتعدى ٠٠٥ ر و ٠١٠ ر كيلو جرام لكل متر مكعب ، وتحمل الغازات بعد معاملتها بالتنقية المبدئية ، قدرا أكثر من هذا . ومن هنا برزت دقة وحساسية العمل بمرحلة التنقية الدقيقة التى يمكن اتمامها بإحدى الطرق الآتية :

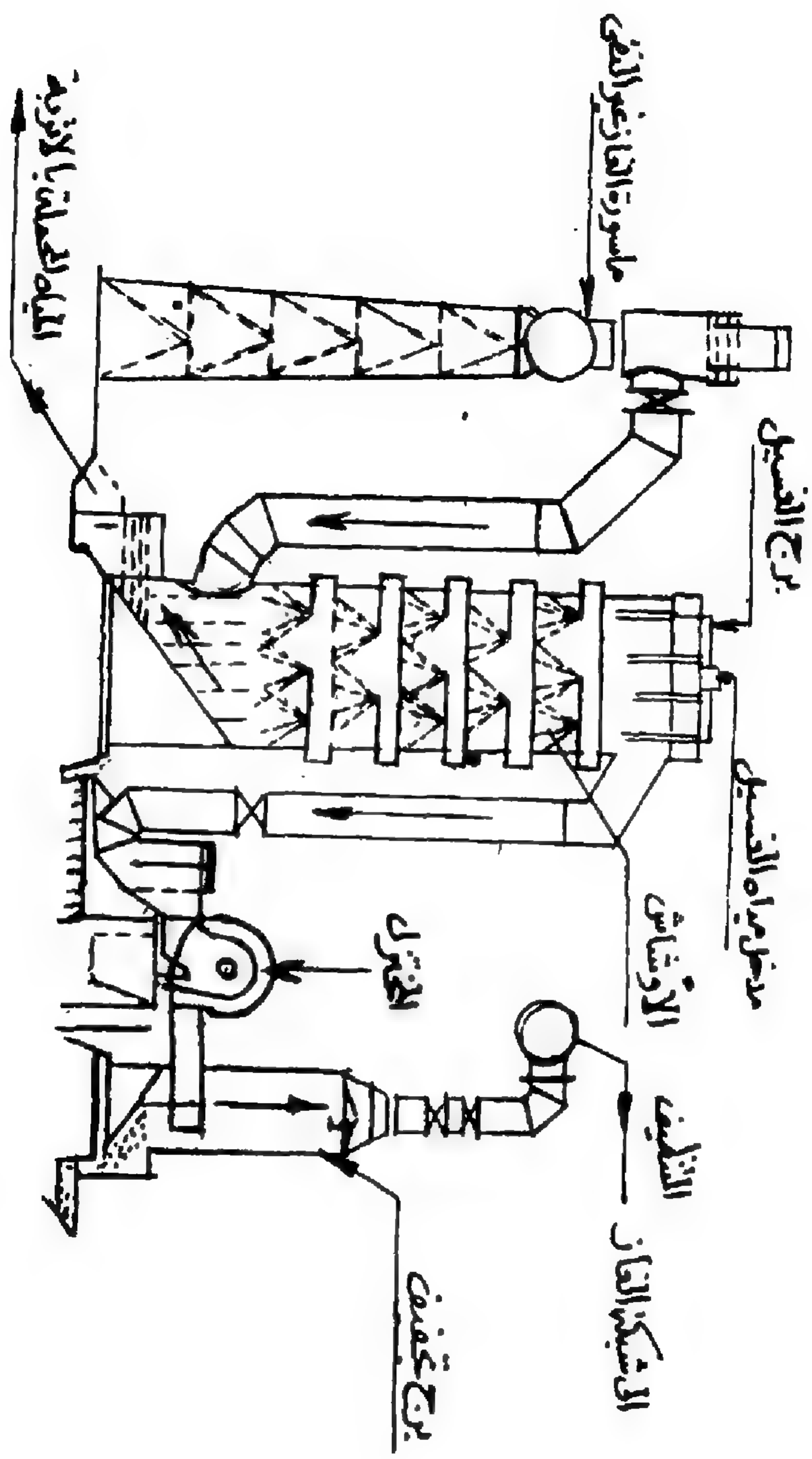
(أ) التنقية المبللة .

(ب) التنقية الجافة .

(ج) التنقية الكهربائية .

(أ) التنقية المبللة :

تتلخص هذه الطريقة ، فى تعريض الغازات بما تحويه من عوالق لرذاذ من الماء ، وبذا يتكون غلاف رقيق من الماء على السطح الخارجى للأتربة والعوالق ، فيزداد وزنها ، ولا تستطيع الغازات حملها ، فتسقط وتتجمع على هيئة طينة ، يمكن بعد ذلك فصلها وإبعادها . ويستخدم فى هذه الطريقة أبراج غسيل ، الشكل (٢٢) ، خاصة يبلغ ارتفاع الواحد منها من ١٠ إلى ١٢ مترا ، وقطره من ٣ إلى ٤ أمتار ، مجهزة من الداخل بمجموعة من الأرفف الخشبية ، المكون كل منها من مجموعة من القضبان الخشبية تعترض سير الغازات ، وبالتالي يتم « قلبها ومزجها » وخفض سرعتها . ومن خلال مجموعة مواسير مركبة على السطح الداخلى للبرج ، يصل الماء إلى أدشاش ، يخرج الماء منها معترضا مسار



شكل ٢٥ - التفتيشية المائلة

الغازات الصاعدة من أسفل البرج إلى أعلاه ، وهكذا تتم عملية تبريد الغاز وتجميع الأتربة العالقة به . لتخرج من أسفله مع الماء إلى أحواض الترسيب ، لتنقية المياه منها ، ثم إعادتها ثانية إلى التشغيل وذلك للإقلال من استهلاكها .

ويغادر الغاز ، الذى تم تنظيفه بهذا القدر ، أعلى البرج حاوياً من ٢ ، إلى ٨ ، جم من الأتربة ، بكل متر مكعب غاز .

ويدخل الغاز بعد ذلك إلى « مكينة الاختزال » ، وهى عبارة عن مروحة تدور بسرعة كبيرة ، محور دورانها مجهز بثقوب يخرج منها الماء المضغوط ، ليختلط مع الغاز خلال دورانه بالاختزال ، وبالتالي تبلل بقايا الأتربة العالقة بالغاز بالماء ، ثم يخرج ذلك الغاز الرطب ليواجه أسطح « فاصل الماء » المائلة ، فيفقد جزءاً كبيراً من رطوبته ، ويخرج من أعلاه إلى مواسير الغاز النقي .

وتبلغ معدلات استهلاك المياه بالفسالات ما بين ٤ و ٦ لتر / م^٣ من الغاز ، وى المختزل يبلغ ذلك من ٧ إلى ١٨ لتراً ، لكل م^٣ من الغاز .

ويحتوى الغاز المنقى بهذه الطريقة ٠,٠٨ - ٠,١٢ ، جم لكل م^٣ من الغاز .
(ب) التنقية المجففة :

فى هذه الطريقة ، يدخل الغاز إلى قررات مغلقة من أعلاها ، تصنع جوانبها من قماش قطنى ، فتتراكم الأتربة على القماش ، ويمكن سحبها بعد ذلك . وتكون كل ٣٠ إلى ٣٥ من هذه القمرات وحدة منظم ، وتتجمع كل ١٠ إلى ١٢ من هذه المنظفات معا ، لتكون وحدة تنقية كاملة .

وحيث أن درجة حرارة الغازات - فى حالتها الطبيعية - قد تسبب احتراق الأقمشة المستخدمة ، لذا وجب تبريد الغاز قبل إمراره بالقمرات ، وخوفاً من أن تسبب الرطوبة التى يحويها الغاز ، نتيجة لذلك ، فى إغلاق فتحات الأقمشة القطنية ، لذا يعاد تسخين الغاز بعد تبريده لدرجة حرارة أعلى من ١٠٠° م ، حتى تظل الرطوبة الموجودة بالغاز على هيئة بخار ولا تتكثف . واستخدام هذه الطريقة - لهذا السبب - محدود جداً .

(ج) التنقية الكهربائية :

وتعتمد هذه الطريقة ، والتى تم استخدامها سنة ١٩١٠ لأول مرة ، على تأين الغازات المارة فى مجال دائرة كهربائية بضغط عال ، حيث تكتسب أتربة الغازات خلال مرورها وملامستها لقطب موجب ، شحنة كهربائية موجبة ، وعند مرورها على القطب السالب

المعترض لمسارها ، تتراكم عليه ، ويمكن تجميعها بعد ذلك من خلال فتحات بماكينة سحب أسفل المنظف ،

وتحدد سرعة مرور الغازات ، بحيث لا تزيد على ٨ ر إلى ١٠ متر كل ثانية ، وذلك حتى يمكن الحد من عدد مواسير القطب الموجب ، حيث أن زيادتها عن المطلوب تعطل فاعليتها . كما يجب أن تزيد الرطوبة على ٥٠ إلى ٦٠ جم لكل متر مكعب . وعادة ما يسبق عملية التنقية الكهربائية ، غسيل للغاز في غسالات تشبه النوع المستخدم في حالة التنقية المبللة ، لكن بدون المعترضات الخشبية .

وهناك رأى آخر يعلل ما يحدث ، بأن الغازات التي تحمل مواداً شائبة بها عند مرورها في أنبوبة بين قطبين كهربائيين أحدهما يحمل ضغطاً عليا ، والآخر موصل بالأرض ، فإنه وكنتيجة لقوة المجال الكهربائي ، تتأين هذه الغازات ، وتتجه الأيونات الموجبة إلى القطب السالب والعكس ، وهي عند انتقالها تنقل معها ذرات التراب التي تقابلها ، وتجمعها على سطح الأنبوبة .

وكثيرا ما يجمع بين غسيل الغاز والفصل الكهربائي ، للوصول إلى أعلى درجات تنقية للغاز من الأتربة والعوالق .

وبالانتهاء من عمليات التنقية ، يدفع الغاز عادة إلى خزان الغاز الذي يؤدي وظيفتين رئيسيتين :

- ١ - حفظ الضغط في شبكة الغاز النظيفة بالمصانع .
 - ٢ - مقابلة أى زيادة في الاستهلاك ، أو أى عطل في إنتاج الغاز .
- (لتوقف فرن فجأة ، الخ .) .

وهو عبارة عن جسم أسطوانى من الصاج الملقوف ، بارتفاع يصل إلى ٣٠ مترا ، يتحرك بداخله « بستم » يتصل بمؤشر للدلالة على كمية الغاز الموجودة بالخزان ، وفي نهاية الخزان العليا ، توجد فتحات تهوية تعمل في تصريف الغاز إلى الجو عند امتلاء الخزان ، نتيجة ضغط الغاز عليه إلى أعلى . وارتفاع مستوى البستم عن مستواها ، مانعة بذلك للبستم من الخروج عن مكانه .

- ومن خزان الغاز، يخرج الغاز النقي إلى أماكن الاستهلاك بالمصانع وأهمها:
- ١ - مسخّنات الهواء للأفران العالية وتستهلك حوالى ٣٠٪ منه
 - ٢ - محطات توليد الطاقة (كهرباء - بخار) وتستهلك حوالى ٤٠٪ منه
 - ٣ - أفران التخمير والأفران الفاطسة والدافعة وأفران حرق الجير الدولوميت، الخ. وتستهلك حوالى ١٠٪ منه
 - ٤ - بطاريات إنتاج الكوك وتستهلك حوالى ١٥٪ منه
 - ٥ - بقية وحدات المصانع وتستهلك حوالى الباقي

٤ - وحدة أحواش التشوين وصوامع الخامات :

تتعامل الأفران العالية، مع العديد من الخامات المختلفة في خواصها الفيزيائية والكيميائية، ويتطلب التشغيل السليم للأفران، ضرورة الهيمنة التامة على كل مشحون بها كما ونوعا، وبهذا كان من الضروري تزويد الأفران بأماكن يتم تشوين هذه الخامات بها، منفصلة كل منها عن الأخرى تماما. ويتم ذلك في وحدة الصوامع وأحواش التشوين التي يلزم وجودها أقرب ما يكون إلى الأفران، والتي يراعى ضرورة ربطها بشبكة النقل الداخلى والخارجى للمصانع. ويتحدد حجم هذه الوحدات تبعا لظروف عديدة نذكر منها :

(١) مصادر الخامات

يتطلب التشغيل المنتظم بالأفران، ضرورة توافر الخامات المختلفة دوما، وبالتالي يؤخذ دائما في الاعتبار، حجم الطلبات، وحجم الاحتياطي اللازم وجوده بأحواش التشوين، واللذان يرتبطان ارتباطا وثيقا بالوضع الجغرافى لمصدر الخامة، ووسيلة النقل المستخدمة في نقلها، وظروف توافرها.

ومن الخطأ الشائع، إعطاء الأهمية للخامات المستوردة، ذلك أن كل الخامات تتساوى في درجة أهميتها بالنسبة للتشغيل، ولذلك يجب أن تعد بمصانع الحديد والصلب، - بكل وضوح مع مراعاة كل الظروف الحقيقية - خطة زمنية متكاملة، للحصول على هذه الخامات، تحدد بها الكميات، والمواصفات، ومواعيد التوريد، ومعدلات الوصول إلى المصانع.

وعليه، فإذا كان مصدر الخامة يشكل متاعب تحد من إمكانية الحصول عليها، لزم أن يزداد حجم الطلبية، وكذا حجم التخزين، وبالتالي حجم أحواش التشوين والعكس.

(ب) الطاقة الإنتاجية للأفران :

لكل مصنع من المصانع طاقة إنتاجية محددة ، ومن المعروف مسبقاً معدلات الاستهلاك من الخامات بالوحدات الإنتاجية به ، وبالتالي تتحدد سعة وحجم أحواش التشوين تبعاً لذلك ، ويجب أن تراعى احتمالات التوسع مستقبلاً في هذه الطاقة التصميمية ، سواء بإضافة وحدات جديدة ، أو برفع كفاءة استغلال الوحدات الأصلية ، أو نتيجة التقدم التكنولوجي للعمليات ، وازدياد خبرة العاملين . وعليه ، يجب دواما مراعاة ذلك عند تصميم أحواش التشوين ، بحيث يمكن بتعديلات بسيطة ، أو بإضافات محدودة ، زيادة طاقاتها التخزينية .

(ج) خواص الخامات :

تختلف الخامات كما ذكر من قبل ، في خواصها ، ويؤخذ ذلك في الاعتبار في حساب شحنة الفرن . وعليه يجب أن تراعى عند تشوين هذه الخامات المحافظة عليها ، فثلاً في حالة استخدام الخامات الهشة السهلة الكسر والتفتت ، يراعى بقدر الإمكان ، الإقلال من عمليات الشحن والتفريغ ، حتى لا ترتفع نسبة الفواقد فيها ، وبسبب ذلك ، فإن الخامات الناعمة يجب أن تشون في الصوامع مباشرة ، للحفاظ عليها من الاختلاط بغيرها ، وبالتالي ذبذبة تحاليلها . وتلعب هذه المواصفات جميعها ، دوراً أيضاً في تحديد حجم وسعة وتصميم هذه الوحدة .

(د) طبيعة العمليات التي تتعرض لها الخامات :

لا شك في أن رفع كفاءة شحنة الأفران ، مؤشر بالغ الأهمية في اقتصاديات التشغيل ، ويعتبر الوصول إلى تجانس مكوناتها ، من مبادئ رفع كفاءة الشحنة . وحيث أن الخامات تصل إلى المصانع في شكل دفعات متعددة تتفاوت في تحاليلها وخواصها ، لذا يلزم إجراء عمليات تجانس صناعية لها ، تتلخص في فرش الخامة على هيئة صفوف متعاقبة أفقياً ورأسياً ، ثم سحبها مقطعاً مقطعاً ، من إحدى نهايات الكوم الذي تم تجنيسه حتى نهايته الأخرى . لهذا لزم دواما أن تدرس خواص هذه الخامات أصلاً ، والعمليات التي تتم عليها ، لتجهيزها وتجنيسها قبل شحنها بالفرن ، الأمر الذي يتطلب تحديد المكان اللازم لإجراء مثل هذه العمليات ، وبالتالي تحديد حجم وسعة وحدة التشوين والصوامع .

(٥) حجم الاحتياطي من الخامات :

لا استمرار التشغيل المنتظم بالأفران ، ولإمكان إجراء عمليات الإعداد والتجنيس للمشحونات ، وللمقابلة أية ظروف اضطرارية خارجة تمنع وصول شحنات الخامات بعضها أو كلها إلى المصانع ، يراعى دوماً تحديد حجم احتياطي لكل خامة ، حسب الظروف التي تحيط بعمليات الحصول عليها - كما ذكر آنفاً - تراعى فيها الظروف المتكاملة .

وبالإضافة إلى ذلك ، ولتسهيل الإجراءات الإدارية اللازمة للحصول على هذه الخامات ، وإعطائها الوقت اللازم لإنهائها ، وجب تحديد ما يسمى بالحد الأدنى للمخزون ، وحسب الطلب ، والرصيد المخرج . . . الخ . الخ . وتختلف مصانع العالم في تحديد هذه الحجم حسب ظروفها الخاصة ، ولكن اتفق الجميع تقريباً ، على أن يكن المخزون - في أى وقت - تشغيل الأفران لمدة ١٥ يوماً للخامات المحلية و ٣٠ يوماً للخامات المستوردة . وهذا ولا شك ، يحدد بالتالى المساحات اللازمة من أحواش التشوين .

وسائل النقل المستخدمة في نقل الخامات :

تستخدم وسائل النقل المختلفة في نقل الخامات من مصادرها إلى المصانع ، وقد تعرض العديد من الباحثين لتحديد مدى اقتصاديات هذه الوسائل تحت ظروف النقل المختلفة ، وأمكن تلخيص نتائجهم كالآتي :

- ١ - السكة الحديدية : تستخدم في نقل الكميات الكبيرة ، لمسافات طويلة .
 - ٢ - النقل النهري : يستخدم في نقل الكميات الكبيرة ، لمسافات طويلة أو متوسطة .
 - ٣ - النقل البري : باستخدام السيارات في كميات صغيرة ، لمسافات محدودة .
 - ٤ - السيور والأسلاك الطائرة : للكميات الكبيرة ، لمسافات صغيرة .
- ومنه يتضح أن الوسيلتين الأولى والثانية ، هما أفضل الوسائل للنقل من خارج المصانع وإليها .

أما في نقل الكوك ، من البطاريات المجاورة عادة لمصانع الحديد ، فتستخدم السيور الناقلة . وتستخدم في حالة النقل بالسكك الحديدية ، عربات ذات تصميم خاص تفتح أوتوماتيكياً ، أو مجهزة بروافع هيدروليكية ، يتم تشغيلها عن طريق القاطرة ، تيلها بزاوية تكفى لسقوط مشحوناتها في أماكن التشوين . وتستخدم حديثاً للإسراع في عمليات التفريغ ،

عربة تفريغ القطارات الثابتة ، أو تلك التي تتحرك على قضبان خاصة بطول أحواش التشوين ، تقوم هذه بواسطة أجهزتها الميكانيكية ، بحمل عربة القطار المحملة بالخامات ، وقلبها بأحواش التشوين ، ثم إعادتها فارغة لوضعها ثانية على قضيب السكك الحديدية ، حيث تسحب بعيدا ، وتتقدم العربة التي تليها للمكان المحدد في « عربة تفريغ » القطارات ، وهكذا . وتفرغ هذه العربة ٣٠ عربة في الساعة ، الأمر الذي يسهل إمكانية التعامل مع الكميات الضخمة من الخامات الواردة . وفي حالة ثبات العربة ، تلقى حمولتها إلى صوامع مجاورة لها ، تسحب الخامات منها عن طريق سيور خاصة ، إلى أماكن تشوينها بأحواش التشوين .

وفي حالة النقل المائي ، تقوم الأوناش الضخمة بتفريغ حمولة الوحدات المستخدمة مباشرة في أحواش التشوين ، التي تبنى عادة بجوار الميناء ، أو تقوم بتفريغ حمولتها في بناكر ، بسحب منها عن طريق سيور ناقلة ، إلى أماكن التشوين . وفي حالات قليلة ، وحيث توجد أحواش التشوين بعيدة عن الميناء ، تستخدم عربات السكك الحديدية في نقل الخامات إلى هذه الأحواش .

وتجهز المصانع بمحطة استقبال للخامات - عادة - يتم بها فرز الخامات وتصنيفها ووزنها . وتعتبر هذه المحطة أول مراحل « النقل الداخلى بالمصانع » ، حيث يتم تدفيعها بقاطرات خاصة ، إلى أحواش التشوين عن طريق « الجسر العالى » الذى يرتفع منسوبه تدريجا عن مستوى قضبان السكك الحديدية بمحطة الاستقبال ، إلى مستوى قضبان السكك الحديدية أعلى صوامع الأفران العالية ، التي تبنى في مجموعات متجاورة في صفوف متوازية . حيث يعلو كل صف منها قضيب سكك حديدية متشعب م القضيب الرئيسى على الجسر العالى ، بحيث يمكن تفريغ عربات القطارات بها ، أو بحوش التشوين مباشرة .

وصوامع التشوين تبنى من الخرسانة المسلحة ، بحيث تمل جوانبها وقاعدتها في اتجاه فتحات نهايتها السفلى ، التي تغلقها سدادات مختلفة التصميم ، تعتمد في عملها على وزنها الذى يسبب إغلاقها المحكم للفتحة . وعند الحاجة إلى تفريغ الخامات ، ترفع هذه السدادات بروافع هيدروليكية (في عربات تسمى عربات الميزان) ، وبعد الحصول على الكمية المحددة ، تهبط الروافع الهيدروليكية لتسقط السدادة بتأثير ثقلها ، وتغلق الفتحة . ولقد تعدد تصميم هذه السدادات ، فته النوع الأسطوانى ، ومنها النوع المنزلق الأبواب ،

ومنها النوع المجهز بسيور معدنية تتحرك أسفلها ، وهي جميعها وان اختلفت في التصميم ، إلا أنها تؤدي نفس العمل .

وتجهز صوامع التشوين في الأفران الحديثة عند نهاية فتحاتها السفلية ، بهزازات أوتوماتيكية ، تغلقها تماما ، وتمنع هبوط مشحوناتها إلا عند تشغيل هذه الهزازات ، التي تتلقى إشارات كهربية من أجهزة التحكم الخاصة ، فتعمل للفترة الزمنية التي تسمح بنزول كمية الحامة المطلوبة ، إلى عربات شحن الفرن وحسب برنامج شحن الفرن الدقيق ، بناء على إشارة من الميزان إلى جهاز التحكم . كما تجهز الصوامع حاليا بأجهزة قياس إلكترونية ، تحدد الحجم الذي تشغله الحامة بها ، والتي تتلخص فكرتها في وضع عنصر مشع في أحد جوانب الصومعة ، وجهاز استقبال في الناحية المقابلة ، فوجود الحام بينها ، يمنع مرور الأشعة ، وبالتالي يمكن تحديد الحجم الذي تشغله الحامات .

المعدات المستخدمة بوحدة الصوامع وأحواش التشوين :

تجهز الوحدة بالعديد من المعدات التي تستخدم في أغراض العمليات المختلفة التي تؤدي بها وهي :

(أ) عربات التوزيع :

تشون الحامات بالأحواش حسب أنواعها في أكوام عديدة ، بينما يختص عدد معين مع صوامع التشوين بالبنّاكر ، لكل من هذه الحامات ، ويتم السحب منها لتغذية الأفران . وعليه يجب إمداد هذه الصوامع بالحامة المقابلة من حوش التشوين ، ويتم ذلك بشحن عربات خاصة تتحرك على قضبان السكك الحديدية بأعلى الصوامع تسمى « عربات التوزيع » التي تقوم بدورها بتفريغها في الصوامع المخصصة لها ، وتتحرك هذه العربات إما بقيادة السائقين وإما أوتوماتيكيا ، وتتراوح حولتها بين ٢٥ و ٥٠ طنا ويتجه التصميم الحديث إلى الاستغناء عن هذه بسبب الحاجة الدائمة إلى صياناتها لكثرة أعطالها ، واستخدام السيور في توزيع المشحونات على الصوامع مباشرة .

(ب) الونش العالي :

والذي يتحرك على قضبان حديدية خاصة ، بطول حوش التشوين المخصص له ، ويستخدم في تشوين الحامات ، بسحبها من مكان تفريغها أمام فتحات التفريغ بالبنّاكر إلى أكوام

خاصة بكل منها ، ويستخدم في شحن عربات التوزيع للمصوامع التشوين ، وكذا يستخدم أحيانا في عمليات التجنيس .

ونظرا لتصميم الونش وارتفاعه ، وخسوقا من تأثير سرعة الرياح على هيكل الونش المعدني ، فإنه يجهز بمجموعة من الفرامل التي تثبته في مكانه ، وتمنع حركة أى جزء فيه تحت هذه الظروف . ولسلامة الهيكل المعدني ، حتى لا يتعرض للانشاء اذا ما تقدمت جهة منه عند سيرها عن الجهة الأخرى ، يجهز الونش بمجموعة من الموتورات المعوضة للسرعة ، تزيد في سرعة الجهة المتأخرة ، وتعمل أوتوماتيكيا بمجرد أن تتجاوز المسافة بين الجهتين قدرا معيناً . هذا بالإضافة الى تزويد الونش بالعديد من أجهزة التنبيه ، التي تعمل بمجرد وجود أى خلل في الونش ، فيتنبه السائق ويتوقف حين عودة الأمور لسيرها المألوف .

ونظرا للترابط الوثيق بين قدرة الونش الانتاجية وتشغيل الفرن تشغلا منتظما ، تحدد طاقة الونش الإنتاجية تحديدا مضبوطة حسب العلاقة التالية :

$$ط = \frac{٦٠}{ن} \times ح \times ك$$

ط = الطاقة الإنتاجية طن / ساعة أو متر مكعب / ساعة .

ك = ثابت يراعى درجة امتلاء كباش الونش .

ز = زمن دورة الشحن والتفريغ (دقيقة) .

يضاف إلى ذلك ، الوقت اللازم لتحركات الونش من مكان تشوين أى خامة الى الأخرى . وفي البلدان الباردة الجو ، تضاف أوقات لعمليات تنظيف كباش الونش من الخامات التي تلتصق به بعد كل فترة تشغيل ، نتيجة ازدياد رطوبة المشحونات .
(ج) عربة الميزان :

وهي تشابه في شكلها الخارجى عربة التوزيع ، غير أنها تعمل أسفل البناكر والصوامع ، وهي مجهزة بمخزين على هيئة مخروطين ، يفصل كلا عن الآخر ، جدار من الصاج ، ويرتكز كل مخروط على ميزان حساس ، يقوم بتسجيل التغير في وزن محتوياته . وهي تقوم بسحب الخامات من صوامعها حسب الأوزان المحددة من قبل لمكونات الشحنة ، ثم تفريغها في عربات شحن الفرن . وتجهز هذه العربات بروافع هيدروليكية ، تستخدم في فتح سدادات الصوامع ، بدفعها من مكانها إلى أعلى ، حيث تنساب الكمية المحددة من كل خامة على حدة

في المخزن المخروطي المخصص لها ، وفق نظام وترتيب المشحونات المعمول به ، وتجهز العربات بمعدات تمنع فتح أبواب المخروطين أثناء السير ، وأثناء رفع الأزرع الهيدروليكية .

(د) مكينة التجنيس :

تتكون الماكينة من هيكل ضخم يتحرك على قضبان حديدية ، تنقل الخامات بمجموعة من السيور إلى ذراعها ، حيث يتم سقوطها . وباستمرار حركة الماكينة من أول مسارها إلى نهايتها ، يتم توزيع الخامات توزيعا دقيقا بطول هذا المشوار ، ويمكن زيادة أو نقص طول الذراع ، التحكم في توزيع الخامات في الاتجاه العمودي - أي بعرض كوم التشوين - وبالتالي عند وصول الكوم الى الحجم المطلوب ، يتم نقل المكينة الى حوش تشوين آخر ، وتستبدل بمكينة سحب الخامات ، وهي مكونة من ذراع شبكية ضخمة ، تتحرك على سطح الأكوام التي سبق اعدادها وتجنيسها ، وهي في حركتها تسمح بمرور كمية من الخام في طبقات متتالية السلم - عموديا على امتداد الكوم - تنزلق عليه ليم تجميعها في مسار محدود في نهايتها ، ومنه إلى السيور الناقلة الى الصوامع لشحنها بالفرن .

٥ - وحدة تصنيع ومعالجة الخبث :

يتم تجميع الشوائب الموجودة في مكونات شحنة الفرن العالي ، وبعض العناصر المرغوب تخليص الحديد الزهر المنتج منها ، في صورة خبث يعتبر كناتج ثانوى . وقد ظل هذا المنتج غير مستغل لفترات طويلة ، مما سبب ارتفاع تكلفة الإنتاج . ومع تطور العلم والتكنولوجيا ، استحدثت مجالات عديدة ، أمكن استخدامه بها ، واكتسب نتيجة لذلك قيمة اقتصادية ، خففت من عبء تكلفة إنتاج الحديد الزهر بالأفران العالية ، وكان ذلك دافعا إلى بناء وحدات تصنيع ومعالجة له ، يلائم منتجها النهائى ، الاحتياجات التكنولوجية لوجه الاستخدام التالى . ويتم تصنيع الخبث في إحدى الصور التالية ، التي تحدد بالتالى الخواص الطبيعية له ، تبعا للطريقة التي اتبعت في تبريده ، وهي :

(ا) خبث محبب .

(ب) صوف الخبث .

(ج) الخبث الخفاف أو المنقوش .

(د) الخبث المبرد هوائيا .

(١) الخبث المحبب : هو ناتج الخبث السائل المبرد تبريدا مفاجئا ، وبكمية كبيرة من المياه ، ويستخدم في صناعة الأسمنت الحديدى ، وهو عادة ناتج الخبث القاعدى . ويشترط فيه ، عدم زيادة نسبة الماغنيزيا عن ٦٪ .

وتتكون وحدة تحبيب الخبث ، من مجارى وأحواض الصب ، ثم مجموعات من الطلمبات تدفع مياه التبريد خلال مواسير خاصة حتى المجارى أو الأحواض ، ثم مجموعات الأوناش المطلوبة لتحميل المنتج ، ووحدات نقل لتسوية الموقع . ووحدات نقل خطوط السكك الحديدية . بالإضافة إلى خطوط سكك حديدية ، متصلة بالأفران تسير عليها قطارات وبوادر الخبث السائل ، ثم خطوط سكك حديد نقل المنتج ، وأحيانا صوامع لتخزين المنتج .

(ب) صوف الخبث : والذي يتم إنتاجه بتعريض الخبث السائل إلى أدشاش من الماء المضغوط بضغط عال تسبب تبريده في هيئة شعيرات دقيقة ، تستخدم كعازل لمواسير البخار وخلافه .

(ج) أما الخبث المنقوش : فيتم الحصول عليه بإلقاء الخبث السائل في بركة مياه لا تكن لتبريده تماما ، ونتيجة لتصادد أبخرة المياه خلال طبقات الخبث ، يكون المنتج في صورة قطع متماسكة خفيفة الوزن ، تستخدم كعوازل أعلى المباني . كما يمكن استخدام المنتج في صناعة طوب عازل ذى مواصفات خاصة .

(د) أما الخبث المبرد هوائيا : فيمكن الحصول عليه من إلقاء الخبث السائل ، وتركه ليبرد تلقائيا ، كما يتكون جزء منه ممثلا في الطبقة الخارجية الملاصقة لجوانب بوادر صب الخبث ، بالإضافة إلى القشرة العلوية المعرضة للجو للخبث بالبوادر . وهذا النوع يمكن تكسيه ثم نخله ، للحصول على تدرج حجمى يلائم احتياجات أعمال رصف الطرق ، أو دكات السكك الحديدية .

٦ - ماكينة صب الحديد الزهر :

بسبب الاحتياج للحديد الزهر في الصناعات المعدنية والمسابك ، ولضمان سلاسة واستمرار تشغيل الأفران العالية ، وحتى لا تتأثر هذه بسبب اختناقات المراحل التالية لإنتاج الحديد الزهر بمصانع الحديد والصلب ، تستخدم هذه الوحدات لتستوعب كميات الزهر الزائدة عن حاجة قسم الصلب ، أو التى لا يمكنه استيعابها في وقت معين ، بسبب

أعطال مفاجئة ، في إنتاج قوالب من الحديد الزهر بأشكال وأوزان محددة ، يمكن تداولها بسهولة .

وتتكون ماكينة صب الزهر ، من حصيرة لانهائية ، شبيهة بتلك السابق الحديث عنها والمستخدم في التلييد ، وتختلف عنها في أن السير الناقل في هذه الحالة ، مكون من مجموعة قوالب من الزهر الهلثيق ، بدلاً بالحديد السائل من مجارى خاصة ، ويعرض سطح المعدن بها أثناء سيرها لأدشاش مياه باردة .

وتضبط بسرعة دوران السير اللانهائي ، بحيث تصل القوالب في نهايتها ، وقد تم تجمد المعدن بها ، فتترك قوالب المعدن السير عند دورانه ليستقبلها موجه خاص يوجهها لعربات الشحن ، التي تنقلها إلى مخازن التشوين داخل المصانع ، أو خارج المصنع لمكان الاستخدام .

وتتبع الوحدة ، وحدة تحضير محلول الجير لتبطين القوالب خلال دورتها ، حتى لا يلتصق المعدن بسطحها ، ثم مجموعة من الطلمبات لترفع مياه التبريد ، ثم أحواض ترسيب لفصل عوالق راجع مياه التبريد وتنقيتها ، ليتمكن استخدامها ثانية في دورتها المغلقة .

وتخدم الوحدة مجموعة أوناش ، منها المخصص لرفع البواقي الحديد الزهر بسرعة معينة ، تختلف باختلاف ميل البودقة ، وبالتالي تضمن انسياب كمية ثابتة من المعدن من فتحة البودقة طوال زمن الصب منها . وكذا منها أوناش الصالة ، وأوناش المرسبات ، وأوناش أحواش التشوين ، وأوناش سحب البواقي ، وأوناش تحريك عربات تحميل المنتج على خطوط السكك الحديدية داخل عنبر الصب ، وحتى حوش التشوين .

ويخضع المنتج من القوالب لمواصفات خاصة ، أهمها التناسق في الوزن ، والتشابه في التركيب ، وسلامة الأسطح ، وانعدام الفراغات الداخلية .

٦ - وحدة طواحين إعداد الطينة الحرارية :

تلتحق بالأفران العالية ، وحدة لإعداد الطينة الحرارية بمواصفاتها المختلفة ، حسب متطلبات ومكان التشغيل . وتتكون هذه الطينة من خلطة مكونة من الطينة عالية الألومينا ، وناعم الكوك ، وكسر طوب الشاموت ، مع إضافة القار كمادة رابطة . وتختلف نسبة هذه المكونات حسب نوع الطينة ، والغرض الذي تستخدم من أجله .

وتتطحن الطينة المستخدمة في طواحين دورانية ، وأما الطوب فيطحن في طواحين فكية ،

طحنا دقيقا لضمان تناسق الحبيبات ، وتجانس الخلطة المنتجة بعد ذلك . وتراعى الدقة التامة عند خلط المكونات ، لأن أى خطأ يسبب عدم تجانس الخلطة الناجمة ، ويسبب بالتالى عدم مطابقتها للمواصفات المطلوبة . ثم تقلب الخلطة جيدا ، وتترك فترة يعاد بعدها التقليب مرة أخرى وهكذا ، لضمان التجانس التام . ثم تترك بعد ذلك لمدة ٤ الى ٦ أيام ، وتنقل إلى الأفران بعد ذلك ، ليضاف إليها الماء تحت رقابة خاصة ، وذلك قبل استخدامها مباشرة ، حيث أن زيادة نسبة الماء الذى يتبخر بارتفاع حرارة عامود غلق الفرن ، ضار جدا لبطانة الفرن الكربونية .

ولكل مكون من مكونات الخلطة أثره على تحديد نوعيتها ، وبالتالي مطابقتها للتشغيل . فالطينة ذات النسبة العالية من أكسيد الألومينوم ، والطوب الحرارى ، كسبانها المقاومة لدرجات الحرارة العالية ، وبالتالي تماسكها تحت هذه الظروف . كما أن إضافة الكوك ، تسبب خلق مسامية تكون مسلكا لخروج الأبخرة عند ارتفاع درجة حرارة الخلطة ، وبالتالي تحفظ لها تماسكها .

وتحدد كمية الخلطة المستخدمة فى غلق فتحة الحديد لفرن ما ، حسب بعد قطر بودقة الصهر به ، ففى أمريكا وحسب نتائج تجارب عديدة فى هذا المجال ، أمكن تحديد هذه الكمية بحوالى ٢٢٠ لترا للأفران بقطر أكبر من ٦ أمتار ، وبحوالى ١٦٠ لترا فى حالة الأفران ذات الأقطار الأقل من هذه القيمة .

وتتكون وحدة الطواحين من صوامع استقبال الخامات الأولية ، ثم صوامع تشوين الخامات . وتجهز هذه بموازن تتحكم فى كمية الخامة الهابطة منها على السير الناقل المركب تحت مجموعة الصوامع ، والذى ينقل الخامات المختلفة فى طبقات تعلو بعضها بعضا ، حسب ترتيب صوامعها إلى الطواحين ، ليتم طحنها وخلطها . وتعبأ الخلطة بعد ذلك فى صناديق خاصة ، لترسل إلى صالة الأفران ، حيث يضاف إليها الماء بمقادير محددة (١٢٪ من وزنها تقريبا) ، ثم يتم تخليطها وتجنيسها قبل استخدامها مباشرة .

الباب الخامس

أجهزة القياس والتحكم المستخدمة بالأفران العالية

يستخدم لمتابعة ومراقبة التشغيل بالأفران العالية ، العديد من أجهزة القياس والتحكم ، التي يتولى كل منها إعطاء الصورة الواقعية لحالة العمل ، فيما يختص بالفرض الذي أنشئ من أجله . وهي تختلف في أسس ونظريات عملها . ومن مجمل الدلالات لهذه الأجهزة التي يتم تجميعها وربطها معا وتحليلها ، يتمكن العاملون بالأفران العالية ، من معرفة ما يجري بداخل الفرن . كما يساعدهم ذلك على التنبؤ بما ينتظر التشغيل من تطورات . وبالتالي القدرة على اتخاذ القرارات والإجراءات التي تمكن من السيطرة التامة على التشغيل ، وتحقيق أهداف الإنتاج كما ونوعا ، وبصورة اقتصادية .

وتنقسم هذه الأجهزة في مجموعها إلى قسمين رئيسيين :-

الأول : ويشمل أجهزة القياس والتسجيل ، والتي تعطى وتسجل القياسات المكلفة بها ، مثل الازدواجات الحرارية ، وأجهزة تحليل الغازات وقياس ضغوطها وكمياتها ، وأجهزة قياس مستوى الشعنة بالفرن ومتابعة هبوطها ، والموازين ، أجهزة قياس كميات مياه التبريد وضغوطها ، الخ .

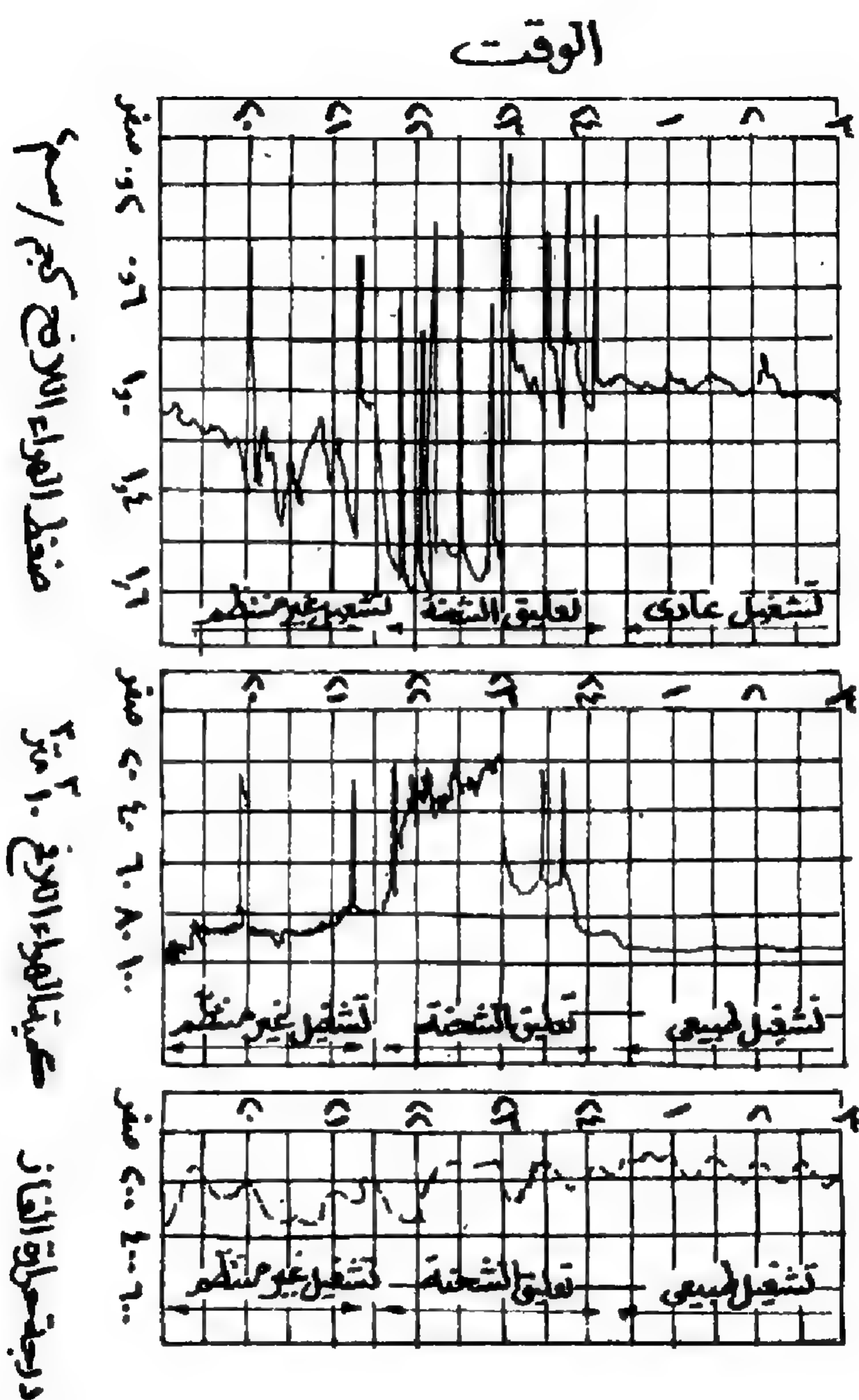
الثاني : ويشمل أجهزة التحكم ، التي يتم تكليفها بالمحافظة على وضع معين محدد ، يتناسب وظروف التشغيل ، عن طريق هيمتها الأوتوماتيكية (الآلية) على المعدات المتحركة في المراحل المختلفة لهذا الوضع ، مثل أجهزة كمية الهواء اللائح أو درجة حرارته ، أو أجهزة التحكم في نسبة الغازات والهواء ، في عمليات تسخين المسخنات ، أو أجهزة التحكم في كميات المازوت أو الغازات المحقونة ، الخ .

ومن أهم الأجهزة المستخدمة بالأفران العالية ، الأجهزة التالية :

١ - أجهزة قياس كمية الهواء اللائح أو الهواء البارد :

تعتمد هذه الأجهزة في قياساتها ، على تناسب الضغط المتولد عن كمية من الهواء أو الغاز مع مقدار هذه الكمية ، وعليه تتركب في مواسير مرور الهواء عند نقط القياس ، ألواح

من الصاج ، بشكل دائري تعترض المسار ، وتتحرك على محور دوراني رأسي ، يمكنها من اتخاذ أى وضع يتدرج من السماح بفتح المواسير تماما ، أو إغلاقها تماما .



شكل ٢٣ - يحدد نموذجاً لقراءات أجهزة القياس
لفرن عال تحت ظروف تشغيل مختلفة

وقد تكون هذه الألواح - في بعض الأحيان - على هيئة قرص به فتحة أو أكثر بركزه ، يمكن فتحها أو إغلاقها حسب الحاجة . وعليه فعند تغير وضع الألواح ، للسماح بمرور جزء من الهواء ، يتولد خلفها ضغط يتناسب والكمية المسموح بمرورها ، وعليه فقياس الضغط خلف وأمام القرص ، وتحديد الفرق بينها ، يمكن الهيمنة على الكمية المسموح بمرورها ، (الشكل ٢٣) وعليه ، فتحديد فارق ضغط معين والحفاظ عليه ، يعنى السماح بكمية محدودة من الهواء أو الغاز بالمرور ، بمعنى التحكم الكامل في كمية الهواء حسب احتياجات التشغيل . ويمكن بسهولة تركيب أجهزة معايرة تعطى وتسجل الكمية بالتر المكعب المارة خلال وحدة زمنية معينة المقابلة لفروق الضغط للمناجم عن تغير وضع الألواح .

ويستخدم بالأفران لقياس كمية الهواء اللافح الداخل إلى الأفران عادة ، الجهاز المعروف باسم « الميزان الحلقى » ، والذي يتكون من أسطوانة بشكل دائرى ، يفلقها ويقسمها إلى قسمين لوح فاصل . تملأ بالماء أو بالزئبق ، وتتحرك في مستوى رأسى حركة حرة ، ويركب عند نقطة المركز منها ، مؤشر يتحرك على تدرج يقرأ مباشرة ، أو عن طريق جهاز تسجيل ، كمية الهواء المار بالماسورة . الذى تتناسب وفارق الضغط عند نقطتى القياس المحدتين أمام وخلف الألواح المتصلتين عن طريق مواسير خاصة بفراغ الأسطوانة على جانبي الفاصل . وبالتالي تتحرك الأسطوانة إلى وضع الاتزان الذى يتناسب وفارق الضغط على سطحى السائل بداخلها من الناحيتين . ويركب على سطح الأسطوانة الخارجى ، ثقل يعادل وزنها ، حتى يضمن لها الحركة الحرة .

٢ - أجهزة قياس ضغط الهواء اللافح أو ضغط الغاز :

يتكون الجهاز من ماسورة حلزونية دقيقة ، يلتحم أحد طرفيها بمصادر نقط القياس ، ويفلق طرفها الآخر المتصل بمؤشر يتحرك على تدرج معاير من قبل . فزيادة الضغط عند نقطة القياس ، وبالتالي زيادة الضغط داخل الماسورة الحلزونية ، يميل شكلها إلى الاستقامة ، فيتحرك المؤشر إلى القيمة الأكبر ، وبانخفاض الضغط يتحرك المؤشر نتيجة عودة شكل الماسورة إلى الوضع الحلزوني في اتجاه القيمة الأقل .

ويركب جهاز قياس ضغط الهواء اللافح ، عند مدخل الهواء إلى الماسورة الملتفة حول الفرن ، وأحيانا عند مدخل الهواء بكل فتحة هواء بالكوع الكبير . وتنقل القيمة المقاسة

إلى أجهزة تسجيل ، تسجل القراءات ليكن الرجوع إليها على فترات زمنية مختلفة .
وبالتالى يمكن الحكم على نفاذية الشحنة ، ذلك أن زيادة الضغط ، يرجع إلى مقاومة عامود
الشحنات داخل الفرن لعامود الغازات الصاعدة ، كما أن انخفاضه يعد دليلا على زيادة
نفاذية الشحنة ، وبالتالي يمكن اتخاذ الإجراءات التى تتناسب وظروف التشغيل .

أما ضغط الغازات الخارجة من الفرن ، فيقاس عند نقطة أو اثنين بمواسير الغاز أعلى
الفرن ، يعطى دلالات هامة عن حالة الفرن ، والتشغيل ، وحالة مجمعات الأتربة ،
والحلزونات ، وتزداد هذه القيمة فى الأفران التى تعمل بضغط عال بالقيمة ، وتتراوح قيمة
ضغط الغاز بالأفران العالية ما بين ٣ إلى ٦ ، ضغط جوى ، بينما تبلغ ١,٠ إلى ١,٥ جوى
فى الأفران التى تعمل بضغط عال بالقيمة .

٣ - أجهزة قياس وضبط درجة حرارة الهواء اللافع :

تقاس درجات الحرارة باستخدام الازدواجات الحرارية ، التى تتكون من سلكين من
معدنين مختلفين متلاحمين فى نهايتهما ، فيتعرضهما للحرارة ، ومع اختلاف درجة توصيلهما لها ،
تتولد بينها قوة كهربائية دافعة ، يمكن قياسها ونقلها إلى تدريب خاص يعطى المقابل لها من
درجات الحرارة . وتركب أجهزة قياس درجة حرارة الهواء اللافع الداخل إلى الفرن عند
مدخل الهواء إلى الماسورة الدائرية حول الفرن ، وتحدد قيمتها حسب احتياجات التشغيل .
وحيث أنه من الضرورى لسلامة التشغيل ، ضمان ثبات هذه الدرجة ، لذا تجهز الأفران
بأجهزة تحكم تتلق هزات كهربائية صادرة من ازدواج القياس عند مدخل الماسورة الدائرية
حول الفرن ، فإذا حدث وكان هناك اختلاف بين قيمة هذا القياس ، وقيمة درجة الحرارة
المطلوبة على جهاز التحكم ، قام ذلك بإرسال إشارة كهربائية إلى زاوية خلط الهواء البارد
يغلفها أو يفتحها ، بحيث يتم الحصول على درجة الحرارة المطلوبة تماما .

أما أجهزة قياس درجة حرارة الغازات ، فتتركب على مواسير الغاز بموضع أو أكثر ،
وهى عبارة عن ازدواجات حرارية عادية ، تعطى قراءتها لتسجل بجهاز خاص ليكن
مقارنتها بين الحين والآخر ، ذلك أن ارتفاع درجة حرارة الغازات أعلى الفرن ، يدل على
سوء تشغيل الفرن ، وعدم الاستفادة التامة من الطاقة الحرارية للغازات فى تجهيز
المشحونات ، أو يدل على تعليق شحنة الفرن ، أو يدل عند توقف الأفران ، على تسرب

مياه لداخل الفرن تسبب في اشتعال الغاز أعلى الفرن ، أو يدل كذلك على عدم تجانس الشحنة على مقطع الفرن ، إلخ . . . ودرجة الحرارة العادية تتراوح ما بين ٢٠٠° إلى ٣٠٠°م ، ويجب أن لا ترتفع عن ذلك كثيرا ، حتى لا يتسبب ذلك في حدوث أضرار بالغة بأجهزة شحن الفرن . . .

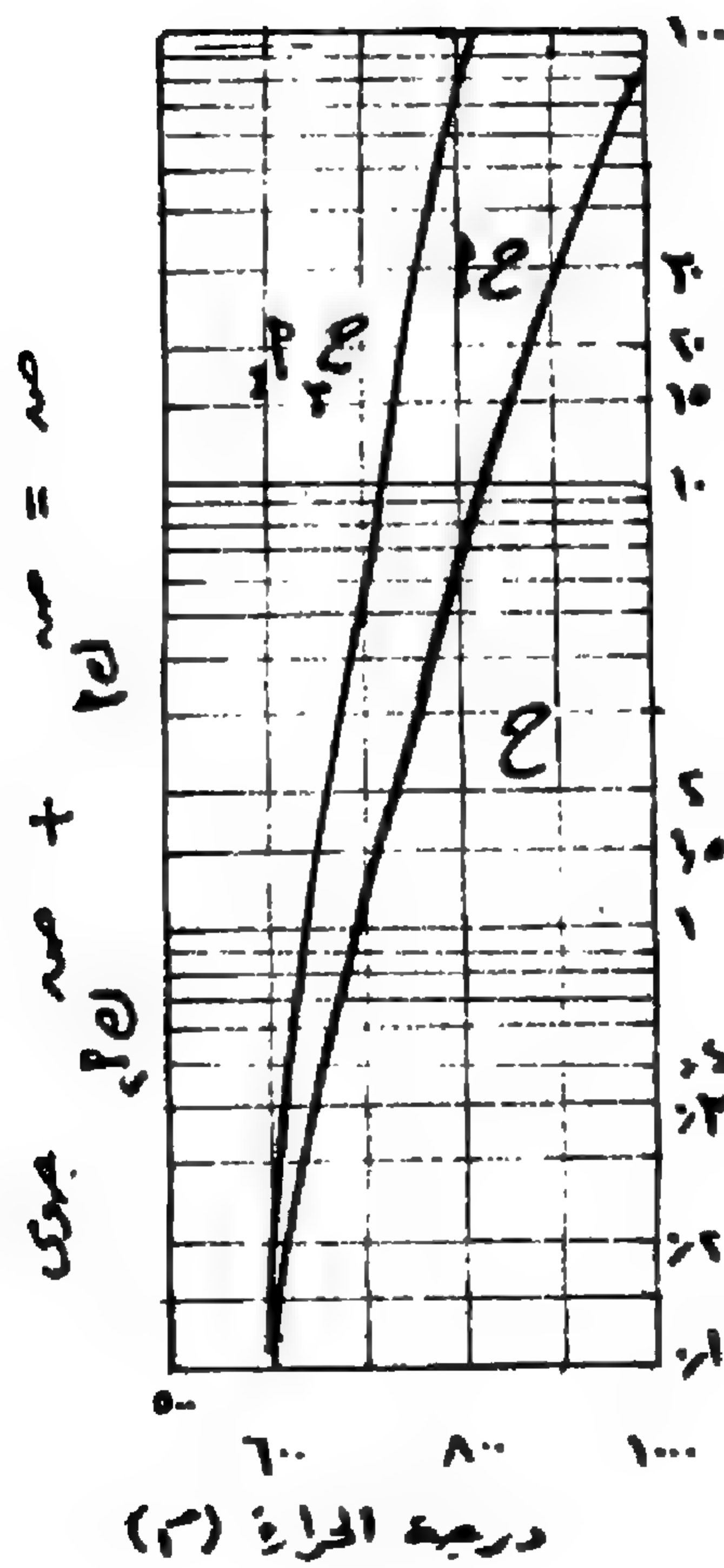
واستخدام الازدواجات الحرارية لقياس درجات الحرارة واسع المجال بالأفران العالية ، حيث تستخدم في قياس درجات الحرارة للطوب الحراري المبطن للفرن ، في أماكن متعددة خاصة في منطقة المخروط العلوي وبمباني قاعدة الفرن . كما تقاس درجات حرارة بطانة المسخنات ، ودرجة حرارة عوادم الاحتراق ، ودرجة حرارة المعدن المنتج ، إلخ . . . باستخدام الازدواجات الحرارية أيضا .

٤ - أجهزة قياس توزيع درجة الحرارة وغاز ثاني أكسيد الكربون على مقطع الفرن بالمخروط العلوي :

تناسب درجة حرارة الغازات الصاعدة بالفرن مع نفاذية الشحنة ، وعليه فإذا زادت هذه النفاذية ، كون ذلك سبيلا سهلا لصعود الغازات دون مقاومة ، وقلل من زمن تلامسها ومكونات الشحنة ، وبالتالي تحتفظ الغازات بدرجة حرارتها العالية . بمعنى أنه بقياس توزيع درجة حرارة الغازات الصاعدة على مقطع الفرن عند مستوى معين ، يمكن الحصول على مؤشر دال على كيفية توزيع الشحنة ونفاذيتها بداخل الفرن . كما أن قياس نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون في هذه الغازات الصاعدة ، يعطى دلالة على سير عمليات الاختزال بالفرن .

وعليه تجهز الأفران الحديثة ، في مستوى مداخل الهواء اللافح بحوالي ١٨ مترا ، بأجهزة قياس يمكنها الحصول على عينات من الغاز الصاعد عند هذا المستوى ، عند نقط مختلفة البعد عن منتصف الفرن ، ترسل بعدئذ إلى أجهزة خاصة تقوم بقياس درجة حرارتها ، وتحديد مكوناتها ، خاصة نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون بها . ومن هذه الأجهزة جهاز « بوخر » (الشكل ٢٤) والذي يتكون جسمه من الصاج ، بشكل مستطيل عرضه ١٥ إلى ٢٠ سم ، وبارتفاع ٧٠ إلى ٨٠ سم ، يدخل من خلال فتحة بجدار الفرن ويصل حتى منتصفه ، ويصم السطح الأسفل لهذا الجهاز بشكل تدريجي ، تنتهي كل درجة عند مكان

معين من قطر الفرن عند المستوى المقابل للفتحة ، ويبلغ عددها ٣ إلى ٦ درجات منفصلة بعضها عن بعض . وتوجد بداخل كل درجة ماسورة مفرغة ، يمكن من خلالها سحب كمية من الغاز لتحليلها ، ومعرفة نسبة ثاني أكسيد الكربون بها كما يوجد بهذه الماسورة ازدواج حرارى لقياس درجة حرارة الغازات الصاعدة عند البعد المحدد بنهاية الدرجة . وعليه



شكل رقم ٢٤ - يحدد الضغط المتولدة نتيجة تفاعل كربون الكوك مع أكاسيد الحديد

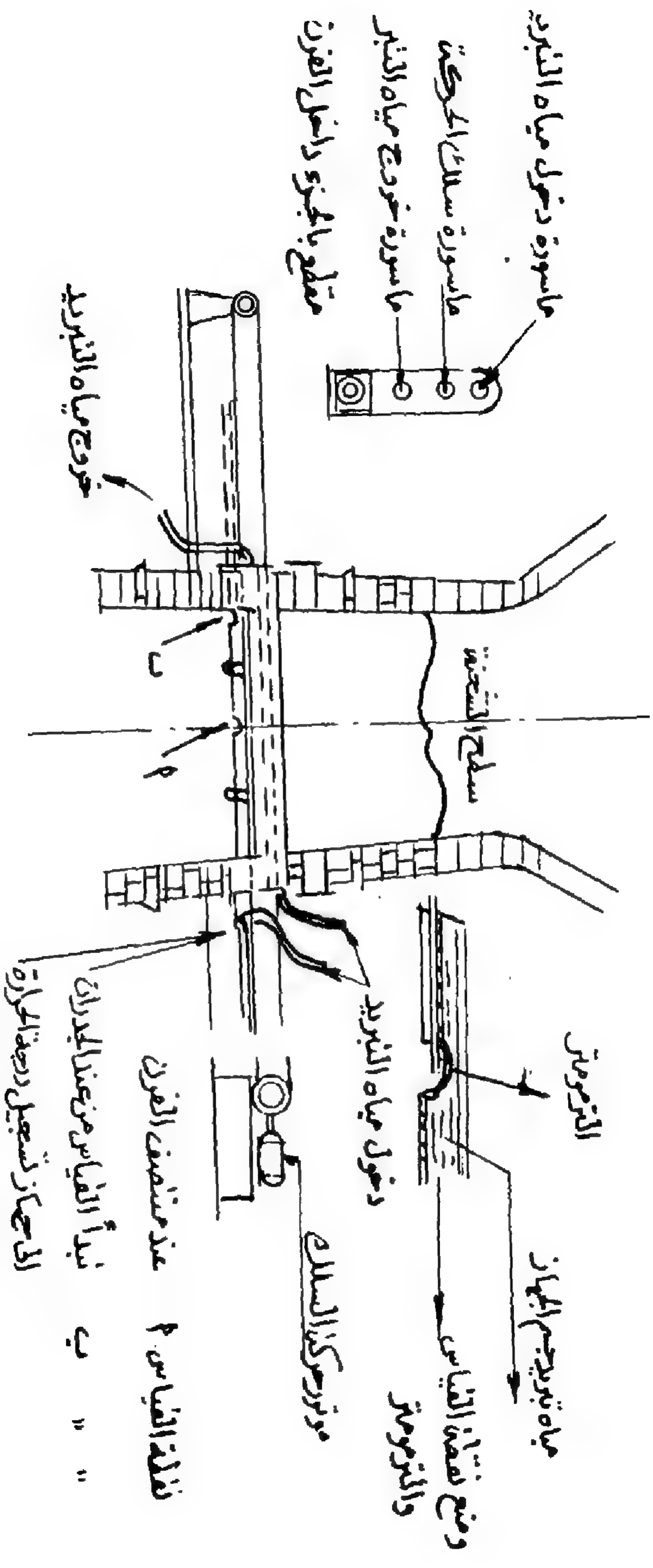
فبتوصيل المواسير ، وبالتالي العينات إلى أجهزة قياس وتسجيل ، يمكن دواما الحكم على مدى نفاذية الشحنة ، وكذا مدى تقدم سير عملية الاختزال . وبالتالي القدرة على اتخاذ القرارات التي تكفل سلامة التشغيل .

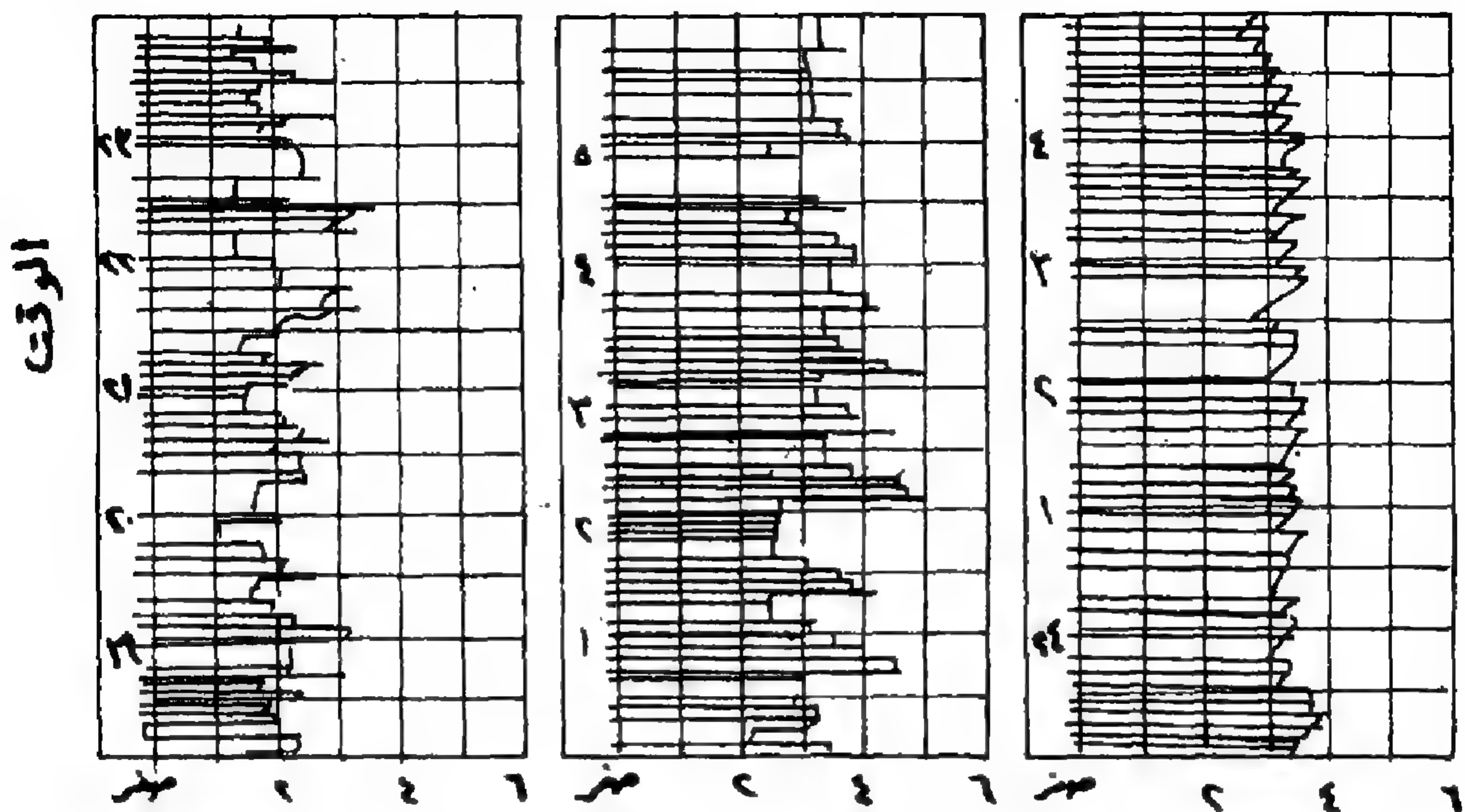
ومن هذه الأجهزة أيضا ، الجهاز المعروف باسم جهاز « لوترز » والذي يتكون من جسم من الصاج ، بشكل يماثل شكل الجهاز السابق ، ولكن بطول يغطي مقطع الفرن عند مستوى تركيبه ، ويتم تبريد الجهاز باستخدام الماء خلال مواسير خاصة مركبة به ، وتوجد بالسطح السفلي من الجهاز ، فتحة يتحرك خلالها بواسطة سلك خاص جهازان لأخذ العينات ، مركب معهما ازدواجان حراريان . وتتحرك أجهزة قياس أخذ العينات في شكل تبادلي ، بحيث لو كان أحد الجهازين عند منتصف الفرن ، يكون الجهاز المقابل في الطرف الثاني عند جدار الفرن .

وبتشغيل الأجهزة ، يمكن الحصول على عينات من الغازات الصاعدة عند أبعاد ثابتة بمقطع الفرن ، وكذا قياس درجة حرارتها . وتستغرق حركة جهاز أخذ العينة من جدار الفرن حتى نهاية مشواره عند منتصف الفرن ٣٠ دقيقة ، وتؤخذ العينات بدءا من جدار الفرن حتى منتصفه ، حيث تغلق مآخذ جهاز العينة الأول ، ليبدأ تسجيل قراءات الجهاز الثاني الذي يبدأ الحركة من جدار الفرن الآخر وهكذا .

٥ - جهاز قياس مستوى شحنة الفرن :

ويسمى جهاز « المحسسات » ، ويتكون من عامودين من الصلب ، يدخل كل منهما الفرن خلال فتحة خاصة بأعلاه ، ويربط من طرفه العلوى بسلك يعمل عن طريق موتور خاص في غرفة الماكينات الفرن ، فعند الرغبة في إضافة شحنة جديدة بالفرن ، تسحب المحسسات إلى أعلى ، خارج الفرن ، ثم تترك لتهبط بعد هبوط الشحنة من فوق الجرس الكبير داخل الفرن ، حيث يلامس الطرف الثاني للمحسسات سطح المشحونات ويبدأ الحركة معها ، مسجلا عن طريق جهاز خاص ، تغير بعد سطح الشحنة عن مستوى الشحن ، ومتابعة ذلك ، ومن الشكل الذي يسجله جهاز التسجيل ، يمكن الحكم على كيفية هبوط الشحنة بداخل الفرن وهل يتم تدريجيا وهو المطلوب ، أم فجائيا وهو غير المطلوب . وعند وصول بعد سطح الشحنة داخل الفرن إلى القدر المحدد له ، ترفع المحسسات لتعاد إضافة شحنات جديدة وهكذا .





الشكل ٢٦ - تسجيلات جهاز المجسات تحت ظروف تشغيل مختلفة

وقد أمكن ميكنة هذه العمليات ، حيث ترسل إشارة كهربائية من جهاز قياس عمق المجسات عند وصولها إلى المدى المحدد لها ، إلى محركها الذى يبدأ فى سحبها ، ويعطى هذا إشارة بدوره إلى بلوف معادلة الضغط فوق الجرس الكبير ، وأخرى إلى موتورات عربات شحن الفرن ، وباتهاء التعادل ، تعطى إشارة لموتور فتح الجرس الكبير ، لتبسط الشحنة أعلاه لداخل الفرن ، ويعاد إغلاقه ، ثم ترسل إشارة لمعادلة الضغط بين الجرسين ، وأخرى لبدء هبوط المجسات مرة ثانية وترسل إشارة ثالثة ليفتح الجرس الصغير ويغلق قبل أن تصل عربات الشحن للفرن إلى القمة ، فتلقى بشحنتها على الجرس الصغير الذى يلقيها بدوره على الجرس الكبير ، وفى خلال ذلك ، تعطى إشارة أخرى إلى هزازات صوامع الحامات ، لتسحب منها الكمية الممثلة لشحنة العربة التالية . وهكذا حتى تكتمل الشحنة فوق الجرس الكبير عندما تصل المجسات الى العمق المحدد تعاد الكرة مرة أخرى وهكذا . وعند حدوث أى خلل فى أى خطوة خلال هذه الحلقة من العمليات ، تتوقف الخطوات التى تليها أتوماتيكيا ، إذ أن إشارة الأمر ببدء عمل أى خطوة ، ترسل من جهاز التحكم عند انتهاء الخطوة السابقة تماما .

٦ - أجهزة قياس كمية الهواء الداخلية خلال كل فتحة من فتحات النفخ :
لما كان انتظام هبوط الشحنة داخل الفرن من أهم أساسيات التشغيل ، وكان فى الإمكان تخيل أن منطقة الأكسدة عند مستوى الودنات ، تمثل نهاية قمع تهبط المشحونات من خلاله إلى بودقة الصهر ، ولما كانت أبعاد منطقة الأكسدة ، وهى أيضا مكان أو موضع فتحة نهاية القمع ، تعتمد أساسا على كمية الهواء الداخل من الودنة المقابلة ، لذلك تنضج ضرورة الهيمنة على هذه الكمية ، بحيث تتساوى لكل الودنات ، ما أمكن ذلك . وبالتالي ، ينتظم هبوط الشحنة داخل الفرن ، موزعا على مقطع الفرن عند أى مستوى . ولهذا تتركب حاليا أجهزة لقياس هذه الكميات ، لا تختلف فى عملها عن بقية أجهزة قياس كميات الغاز والهواء ، والسابق شرحها - عن طريق حاجز يركب فى الكوع الكبير - يمكن زيادة أو خفض هذه الكمية ، بحيث تتساوى بكل فتحات النفخ . وفى الماضى ، استخدمت مواسير على هيئة (U) ، كانت تملأ بالماء ، لقياس اختلاف الضغط بين مدخل الودنة ونقطة الصفر الافتراضية - وهى نقطة قياس فى الماسورة الموصلة للهواء اللافح - وبذلك أمكن تحديد كمية الهواء الداخلة لكل فتحة ثم الهيمنة عليها . وزيادة كمية الهواء الداخلة من ودنة ما ، يعتبر دليلا على زيادة نفاذية الشحنة فى المستويات أعلى هذه الودنة ناحية الفرن التى تقع

بها ، وبالتالي يمكن عن طريق تغيير نظام الشحن ، إضافة شحنات بهذا الجانب من الفرن ، تؤدي إلى إقلال النفاذية ، وتعمل على تحسين توزيع الغازات الصاعدة على مقطع الفرن كله .

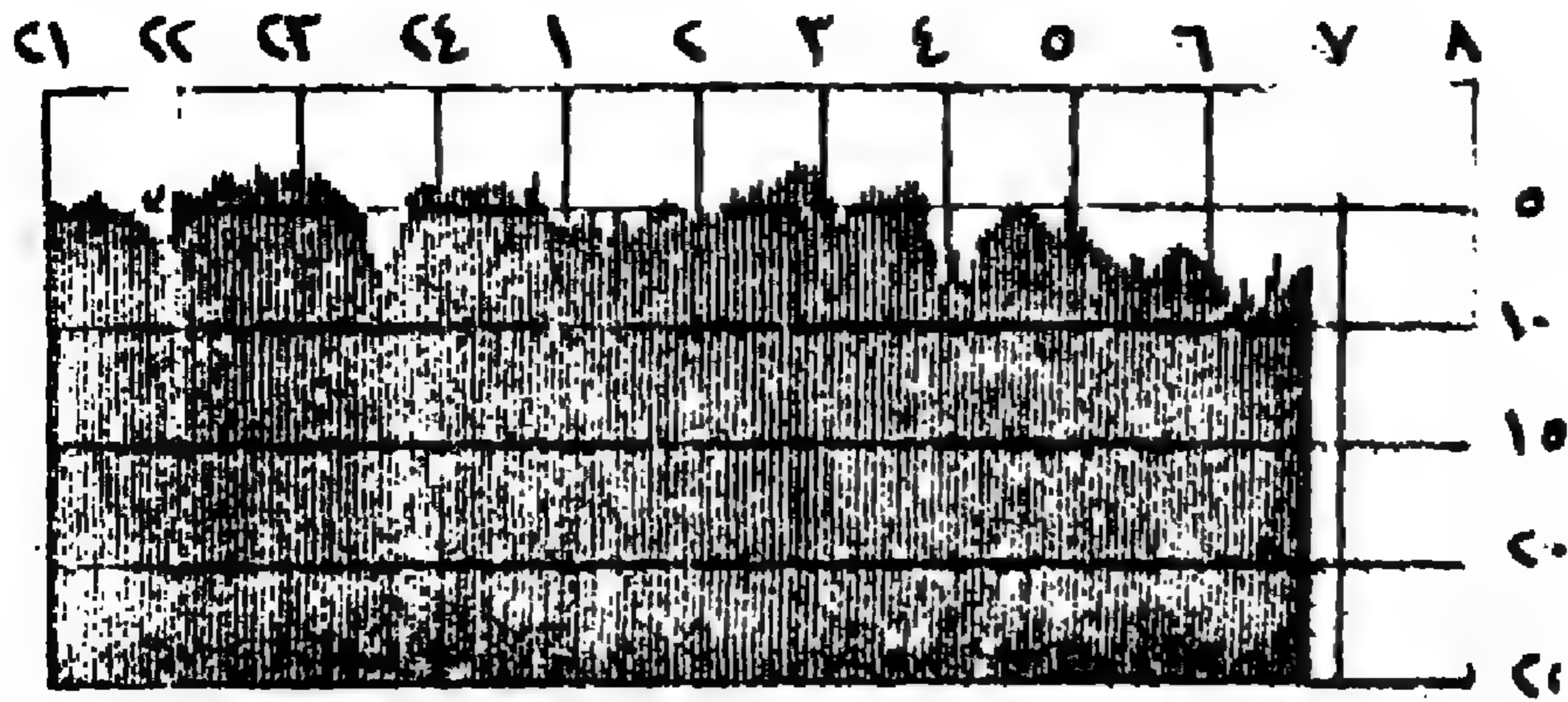
٧- أجهزة تحليل الغازات :

بالإضافة إلى ماسبق الحديث عنه من أجهزة القياس التي تستخدم عمليات الأفران العالية ، تجهز غرف مراقبة تشغيل الأفران ، الشكل (٢٧) ، بأجهزة خاصة تمكن من تحليل الغازات الصاعدة . فيوجد جهاز لقياس نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون ، وآخر لقياس نسبة غاز أول أكسيد الكربون ، وثالث لتحديد نسبة الهيدروجين ، وبمعرفة هذه النسب بالغازات الصاعدة ، تحدد نسبة غاز النتروجين .

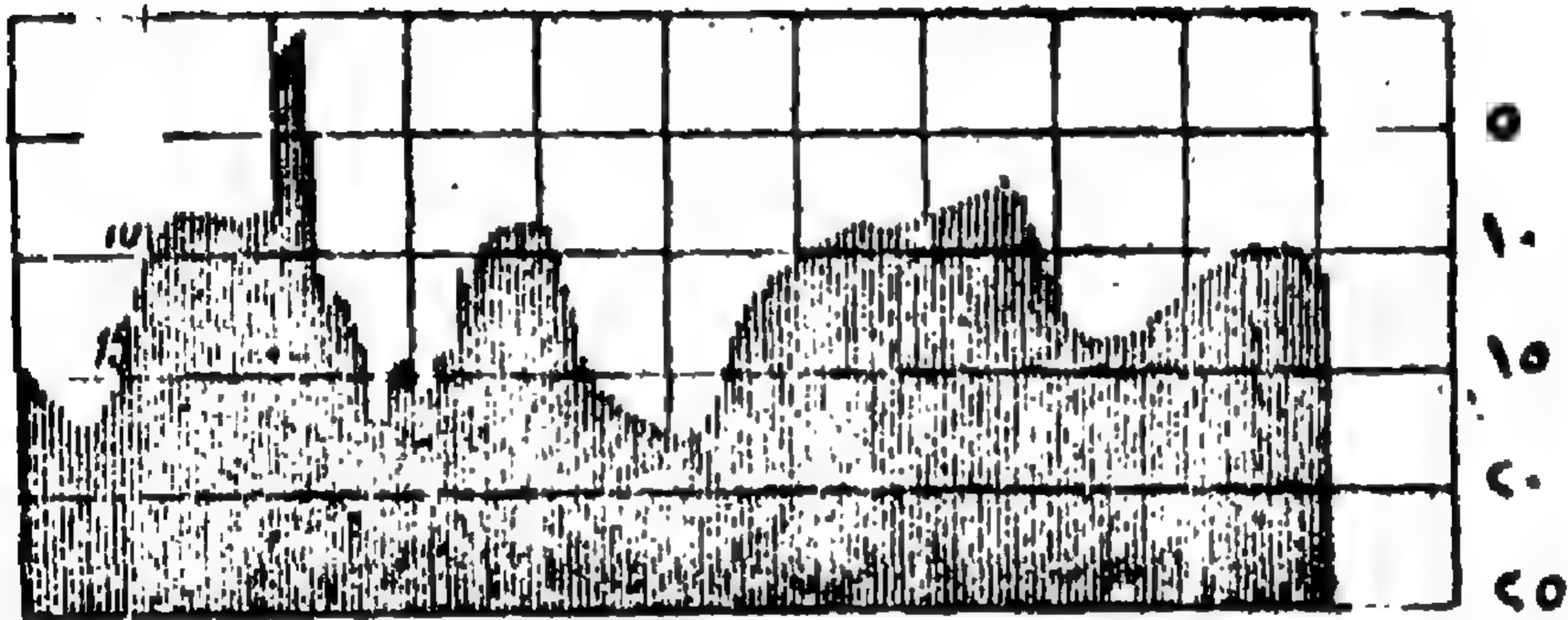
وتعتمد هذه الأجهزة في قياساتها ، على اختلاف خواص الغازات المذكورة ، فنجد مثلا أن غاز ثاني أكسيد الكربون يتمتع بخاصية التوصيل الجيد للحرارة ، والتي تفوق بكثير مثيلاتها بالنسبة لباقي الغازات ، وبالتالي فيأمرار غاز الأفران العالية ، على موصل حراري ، وقياس مقاومة هذا الموصل التي تعتمد على التوصيل الحراري للغاز ، يمكن قياس نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون بها ، وبقياس الحرارة المتولدة عن احتراق كمية من الغاز ، يمكن تحديد نسبة غاز أول أكسيد الكربون . أما كمية النتروجين فهي عبارة عن المقدار الباقي .

وتجتمع جميع هذه الأجهزة في حجرة أقرب ما تكون للفرن العالي ، تسمى غرفة مراقبة تشغيل الفرن ، بحيث يسهل على العاملين به قراءتها ، وتحليل مدلولاتها ، والربط بين المؤشرات المختلفة لبقية أجهزة المراقبة .

وبالتالي ، الحكم على التشغيل ، وسهولة اتخاذ القرارات . كما تضاف بالفرفة ، أجهزة أخرى لقياس كمية وضغط مياه التبريد الرئيسية ، وضغط البخار في شبكاته ، وضغط الغاز النقي ، وأجهزة مراقبة تشغيل المسخنات ، وأجهزة مراقبة الشحن ، وأجهزة اتصالات داخلية ، وأجهزة الربط المباشر بين الفرن ووحدات نفخ الهواء ، وبين الفرن ووحداته المساعدة جميعها ، وأحيانا أجهزة تليفزيونية تنقل عمليات الصالة لغرفة المراقبة إلخ . بمعنى أنها تعتبر غرفة عمليات متكاملة تمثل القلب النابض للفرن . وهي مكان الوجود الدائم للمسئول الأول عن التشغيل .



الجهة الجنوبية بالفرن



الجهة الشمالية بالفرن



الجهة الغربية بالفرن

النسبة المئوية لغاز ثاني أكسيد الكربون

شكل رقم ٢٧ يبين نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون بغاز أحد الأفران العالية
مقاماً في جهات مختلفة وتحت مستويات مختلفة بالفرن مباشرة .

الباب السادس

التفاعلات الكيميائية بالفرن العالى

تعرض المشحونات بالفرن العالى ، إلى العديد من التغيرات الكيميائية والفيزيائية خلال رحلتها من أعلى الفرن ، وحتى الحصول عليها فى هيئة معدن أو خبث منصهر فى أسفله . وكذا الحال لعمود غازات الأفران الصاعد . وهذه التغيرات تتولد نتيجة العديد من التفاعلات التى تتم وفقا لأسس ونظريات علمية ثابتة .

ولكى يتمكن القارئ من تفهم ما يحدث بالفرن من تفاعلات ، نجد لزاما ، التعرض لشرح الأسس النظرية التى تتحكم فى أهمها ، وتكتشف الظروف التى تتم فيها ، وبالتالي توضيح كيف يمكن الهيمنة عليها . وهى :

١ - الاختزال :

هو عملية استخلاص الأوكسيجين المرتبط بالمعدن مكونا أكاسيده وتخليصه منه ، ويتم ذلك عن طريق :

(أ) تفتيت الارتباط بين المعدن والأوكسيجين بالتسخين حسب مايلى :

أكسيد المعدن « بالتسخين » — المعدن + أوكسيجين .

(ب) استخدام مختزل يتمتع بقدرة وشراهة للارتباط بالأوكسيجين تزيد على قدرة المعدن المطلوب اختزاله ، بشرط أن يتميز ناتج هذا الارتباط بالثبات تحت ظروف الاختزال المحيطة . بمعنى أن :

أكسيد المعدن + مختزل — المعدن + أكسيد المختزل

م أ + خ — م + خ أ

حيث م = معدن ، خ = مختزل .

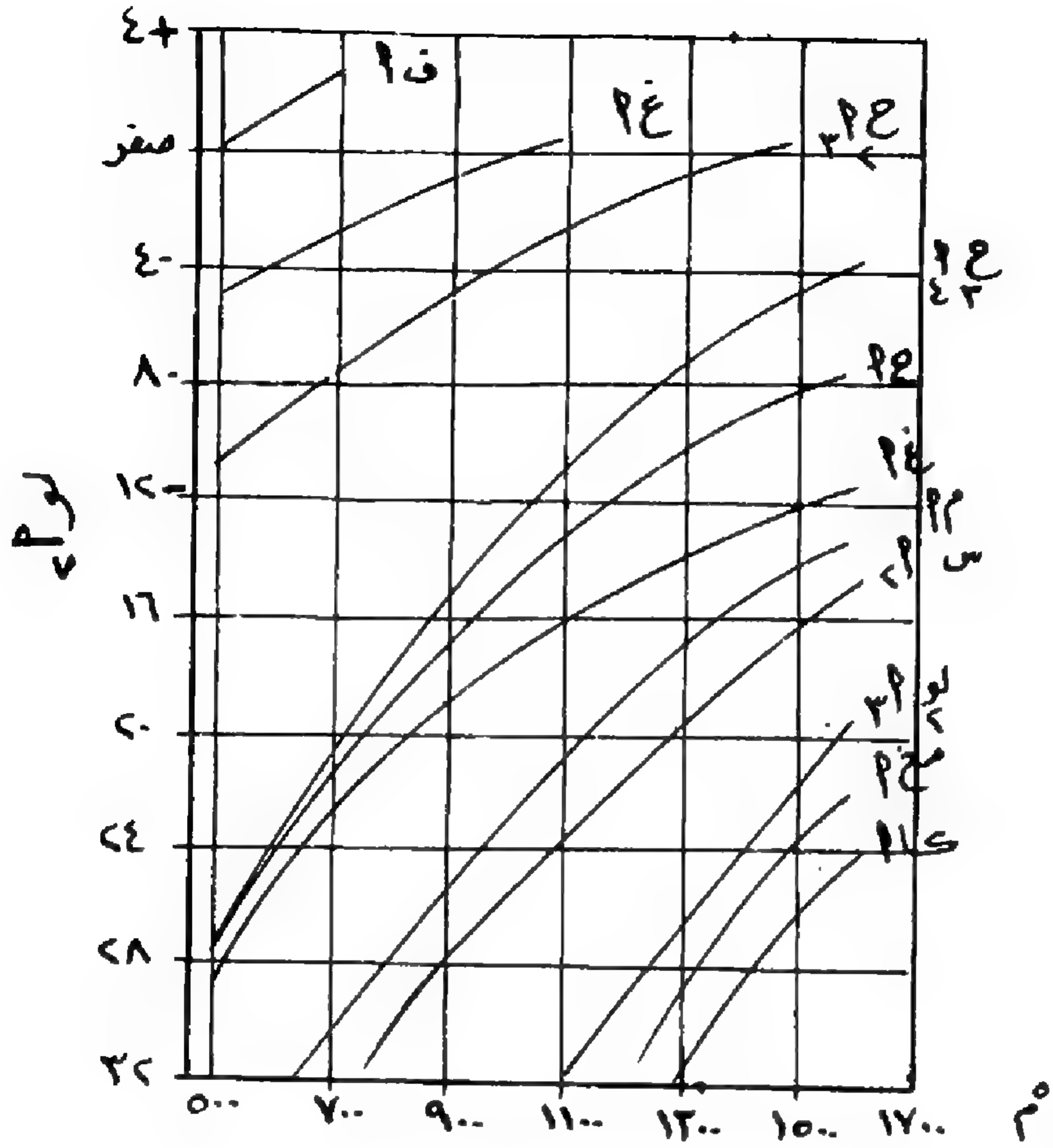
كما يمكن أن يختزل أكسيد المختزل أكسيد المعدن الآخر وكما يلى :

أكسيد المعدن + أكسيد المختزل — المعدن + أكسيد أعلى للمختزل .

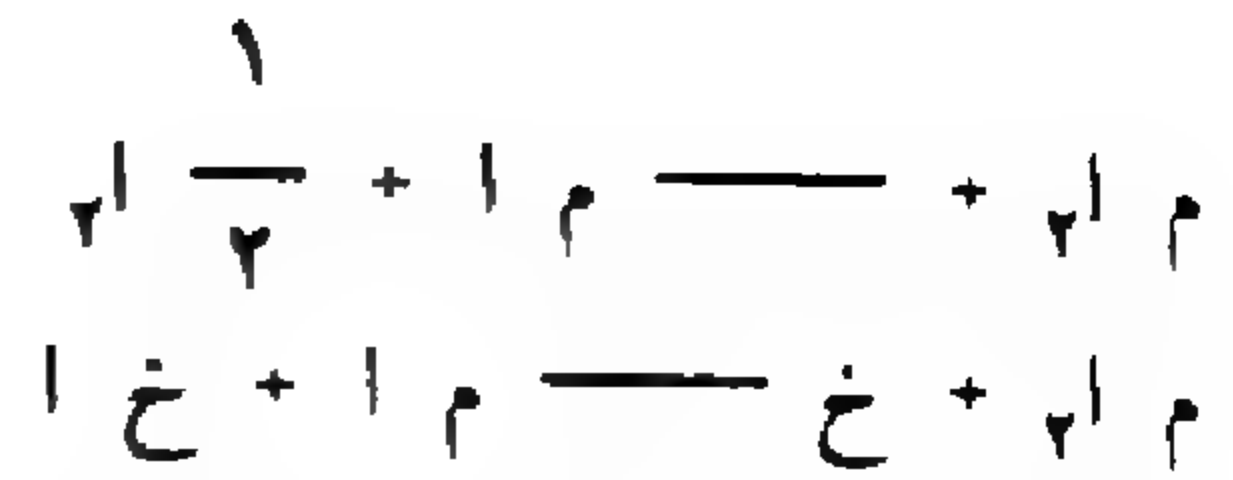
م أ + خ أ — م + خ أ

وبهذا التعريف ، يمكن القول بأن تحول أكسيد معدن ما إلى أكسيده الأقل درجة ، يعتبر

اختزالا له ، وتبين العلاقة هذه كالآتى :



شكل ٢٨ يحدد العلاقة بين لوغاريتم ضغط البخار لبعض الأوكاسيد ودرجة الحرارة



وتخليص المعدن من الأوكسيجين المرتبط به عن طريق اختزال أكاسيده ، يلعب دورا أساسيا في الصناعة الميتالورجية ، حيث يتم به الحصول على معادن الحديد والرصاص والقصدير ، وعدد آخر من المعادن من خاماتها .

ويعنى تكون أكسيد المختزل الأكثر ثباتا تحت الظروف المحيطة بالتفاعل ، أن « الشغل الأعظم » لبناء هذا الأكسيد ، أقل من الشغل الأعظم لبناء أكسيد المعدن ، بمعنى

تس خ — تس 1
حيث أنه بدون ذلك الشرط ، لا يتم التفاعل في الاتجاه المحدد بالسهم عالياً ، وينتج من ذلك أن « ضغط تحليل » الأكسيد المختزل تحت الظروف المحيطة بالتفاعل ، أقل من ضغط تحليل أكسيد المعدن .

وحيث أن الشغل الأعظم وضغط التحلل يمكن ربطهما بالعلاقة التالية :

$$\text{ت. د. لو ض م} - \text{ت. د. لو ض م} = \text{ت. د. لو ض م}$$

$$\text{أى أن } 0.0.0 \text{ لو ض م} - \text{لو ض م} = \text{لو ض م}$$

$$\text{أى أن } 0.0.0 \text{ ض م} - \text{ض م} = \text{ض م}$$

$$\text{حيث ت} = \text{الثابت العام للغازات}$$

$$\text{د} = \text{درجة الحرارة المطلقة}$$

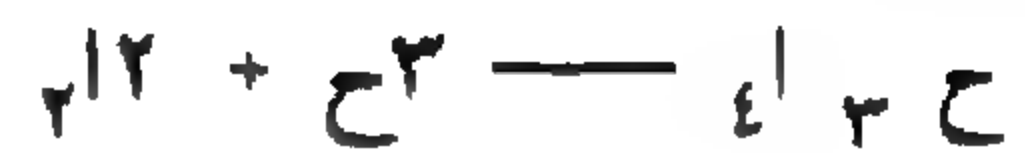
$$\text{ض م} = \text{ضغط التحلل لأكسيد المعدن .}$$

ويعنى هذا أنه كلما انخفض ضغط التحلل لأكسيد ما ، كلما أصبح هذا الأكسيد قادرا على انتزاع الأوكسيجين من أى أكسيد له ، تحت ضغط تحليل أكبر منه . (تحت ظروف معينة من الحرارة والتركيز) .

وقد قام العلماء بتحديد ضغط التحلل لمجموعة من الأكاسيد تحت ظروف متغيرة لدرجات الحرارة ، كان من نتائجها الحصول على العلاقات المحددة بالشكل التالى الشكل (٢٨) . الذى يحدد هذه العلاقة ، حيث يختزل أى معدن أكسيد المعدن الذى يصلوه .

والشكل يحدد كذلك الشغل الأعظم اللازم لأكسدة أى معدن فى جو من الأوكسيجين عند درجة حرارة معينة .

ويلاحظ أن فى درجات الحرارة أقل من ٥٧٠°م ، (نقطة تلاقى الخطين المثلين لضغط تحلل أكسيد الحديد المغناطيسى وأكسيد الحديدوز) ، أن ضغط تحلل أكسيد الحديدوز أكبر من ذلك الخاص بتحلل أكسيد الحديد المغناطيسى ، (ح ٣ ا١) ، بمعنى أن (ح ١) غير ثابت فى درجات الحرارة التى تقل عن هذه الدرجة ، وأن تحلل (ح ٣ ا١) فى هذه الحال يكون كالآتى :



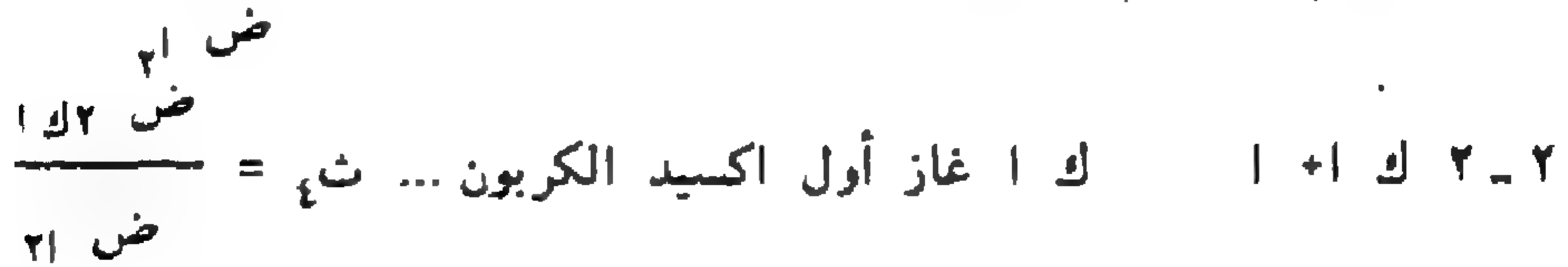
مباشرة ، كما يلاحظ من الشكل صعوبة اختزال الأكاسيد ذات ضغط التحلل الصغيرة ، مثل أكسيد السيليكون وأكسيد المنجنيز . غير أن اختزالها إلى سيليكون ومنجنيز ، يحدث وبنسبة قليلة فى تفاعلات الأفران العالية ، بشرط توافر نسبة عالية من غاز أول أكسيد الكربون ، وفى وجود الحديد الذى يذيب السيليكون والمنجنيز المتكونين عند درجات الحرارة العالية ، وذلك حسب العلاقة التالية :



المقصود بوجود رمز العنصر بين القوسين أنه فى حالة ذوبان فى الحديد .

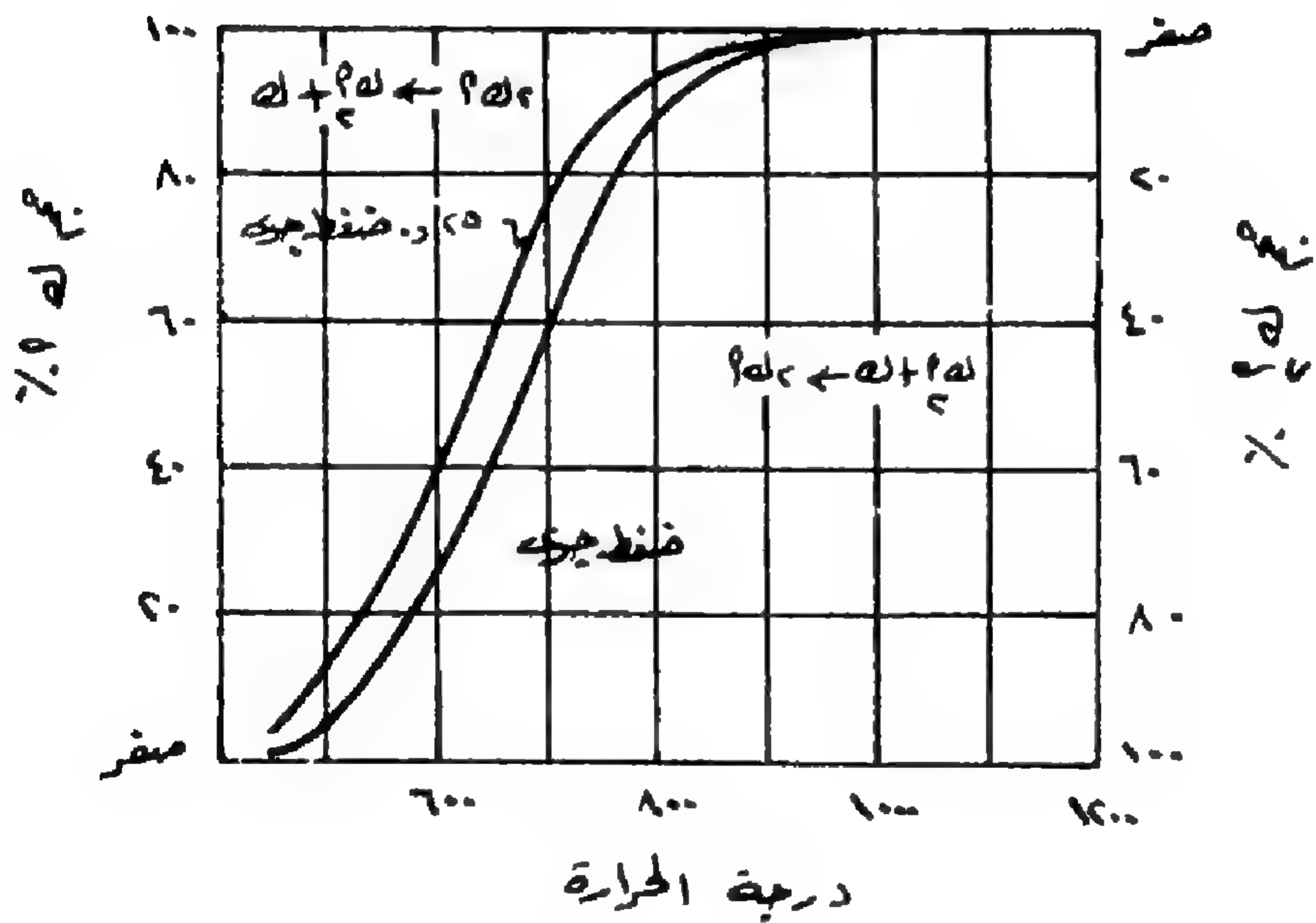
٢ - مجموعة الكربون والأوكسيجين :

هذه المجموعة تضم العديد من المركبات التى تنجم عن التفاعلات التالية :



ونظرا لتضاؤل تركيز الأوكسيجين في حالة الاتزان ، فإن ثابتي التفاعلين (١) ، (٢) يكونان كبيرين لدرجة أنه حدوث التفاعل في الاتجاه العكسي ، يكون مستحيلا عمليا ، كما يلاحظ ان :

(١) التفاعل رقم (٣) في درجات الحرارة أقل من ١١٠٠ ° مطلقة ، لا يمكن ان ينعكس



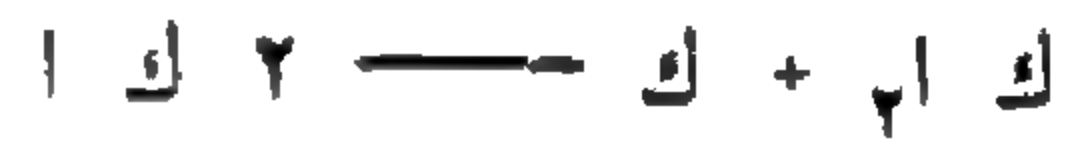
شكل ٢٩ - اتزان التفاعل $\text{Fe} \rightleftharpoons \text{FeO} + \text{CO}$
(تفاعل بوداردوبيل)

اتجاهه ، بينما تنعكس العلاقة المحددة عالياً في درجات حرارة أعلى من ذلك .
(ب) أن التفاعل رقم (٤) لا يعكس اتجاهها إلا في درجات حرارة أعلى من ٢٥٠٠° مطلقة .

وعليه يمكن القول ، بأن (ك ١) لا يمكن أن يتحلل إلى مكوناته بالحرارة المحيطة بظروف تشغيل الفرن العالي ، بينما يتحلل (ك ٢) حسب المعادلة :

$$٢ \text{ ك } ١ - ٢ \text{ ك } ١ + ٢ \text{ ك } ٢$$

في درجات الحرارة وليس إلى كربون وأوكسجين .
(ج) في درجات الحرارة أعلى من ٩٠٠° م وفي وجود الكربون ، يتحلل (ك ٢) حسب الاتي :



وعليه يتضح أنه في درجات الحرارة العالية ، وفي وجود الكربون ، لا يوجد سوى غاز أول أكسيد الكربون (ك ١) فقط في حالة النبات .

٢ - تفاعل بيل وتفاعل بودوارد :

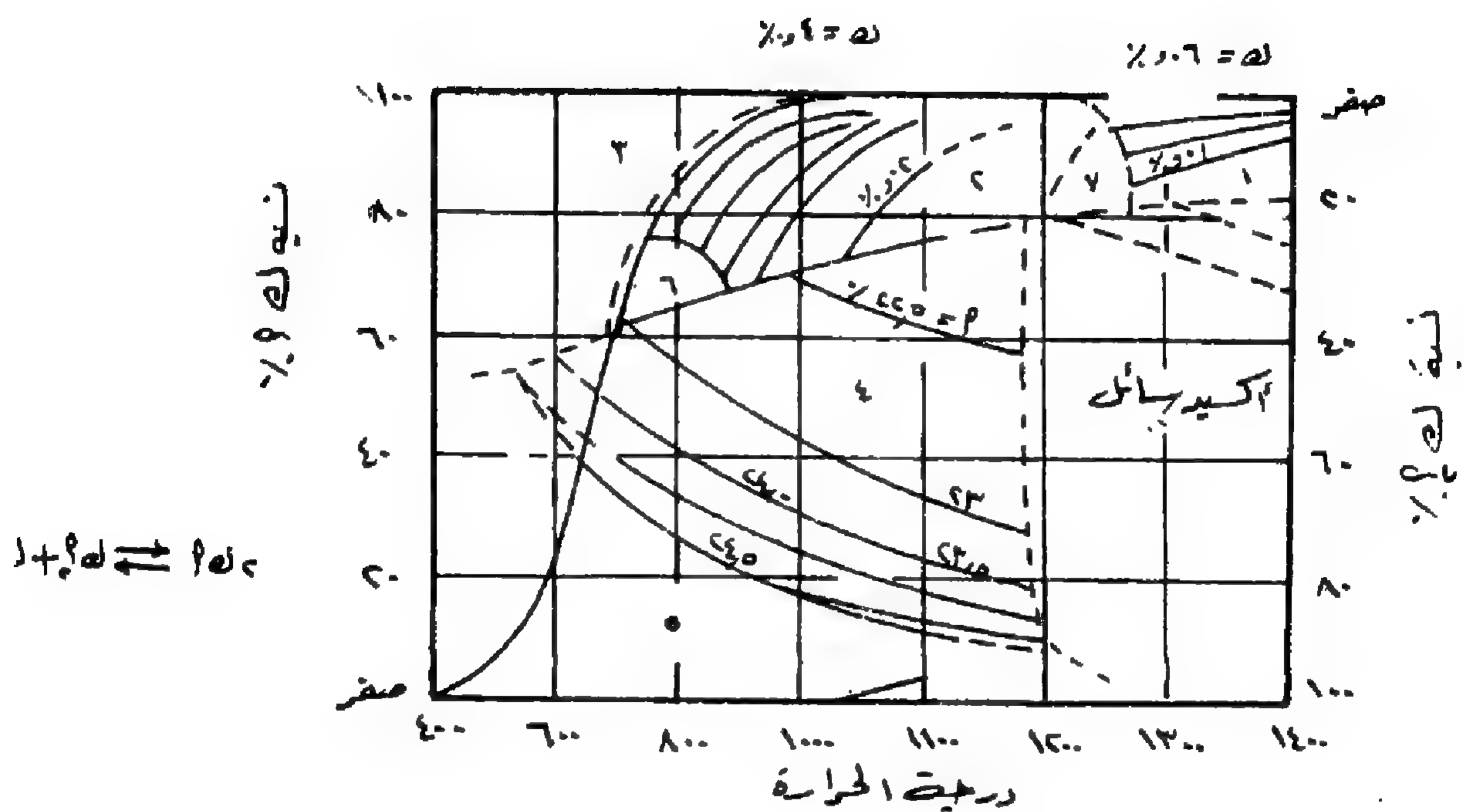
بجمل التفاعل رقم (٣) ،



مكانة خاصة في الميتالورجيا ، خاصة في حالة اختزال الأكاسيد . ويسمى عند حدوثه في اتجاه السهم « تفاعل بيل » وعند حدوثه في الاتجاه العكسي « تفاعل بودوارد » نسبة إلى مكتشفه . ويحدد الشكل (٢٩) ، هذه العلاقة لنسب مختلفة من غازي (ك ١) ، (ك ٢) في حالة الاتزان ، حيث يبلغ ضغط المجموعة في أحدهما ١,٠ جوى ، وللأخرى ٠,٢٥ جوى وينتج من الشكل نبات أول أكسيد الكربون في درجات الحرارة العالية ، بينما يكون (ك ٢) في حالة النبات في حالة درجة الحرارة المنخفضة فقط .

وكل من تفاعل بودوارد وبيل يتأثر بالضغط طبقاً لوساتيليه ، إذ أن ازدياد الضغط ، يدفع بالتفاعل في اتجاه تكوين ثاني أكسيد الكربون ، والكربون ، وخفض الضغط يدفعه إلى اتجاه تكوين أول أكسيد الكربون . بمعنى أنه في درجة الحرارة الباقية ، ولكي تظل المجموعة في حالة اتزان ، يجب أن تزداد نسبة غاز ثاني أكسيد الكربون إلى أول أكسيد الكربون ، كلما زاد الضغط الكلي للمجموعة .

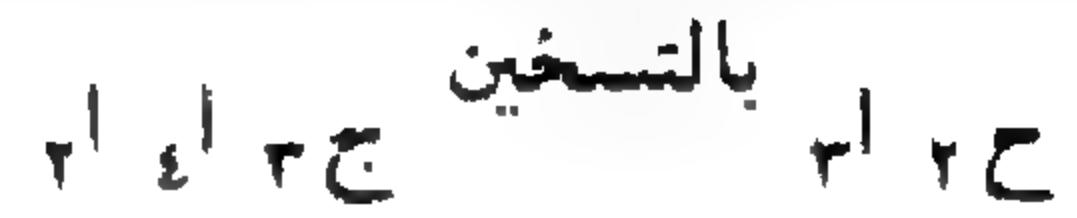
كما يتضح من الشكل (٣٠) أن البعد بين الخط المثل لملاقة بودوارد والخطوط
المثلة لحالة الاتزان لأكاسيد الحديد المختلفة ، إنما يمثل في الواقع مقياسا لقدرة الاختزالية
للغاز .



شکل رقم ۳۰ - اتران المجموعۃ . حديد . اوكسجين - كربون (کیم اسم)

٣ - اختزال أكاسيد الحديد بغاز أول أكسيد الكربون :

يلاحظ أن أكسيد الحديدك ، له ضغط تحلل أكبر من زميله أكسيد الحديدوز وأكسيد الماغنيت ، وأنه في درجة الحرارة ١٤٠٠°م يصل الضغط الجزئي للأوكسيجين الناتج من التحلل إلى واحد ضغط جوى . وعليه يتحلل أكسيد الحديدك - المعرض للجو - إلى أكسيد الماغنيت والأوكسيجين ، حسب التفاعل التالى :

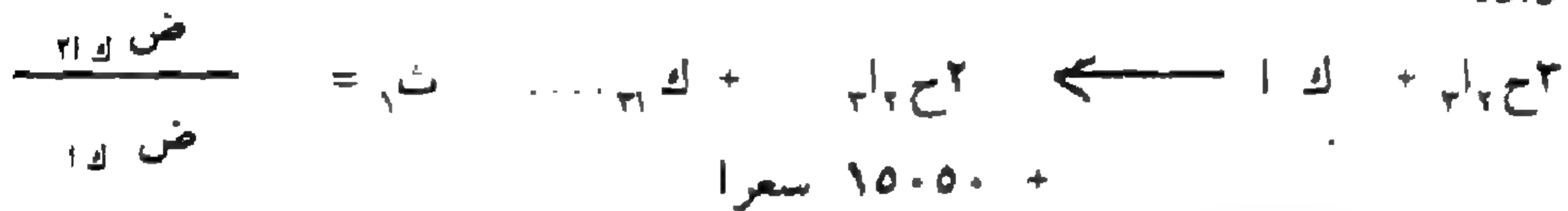


بينما تتلاقى الخطوط الممتدة لتحلل أكسيد الحديد المغناطيسى وأكسيد الحديدوز عند درجة حرارة ٥٧٠° ، ويقع الخط الممتل لعلاقة تحلل أكسيد الحديد المغناطيسى في درجات الحرارة التى تزيد على هذه الدرجة أعلى زميله الخاص بتحلل الحديدوز .

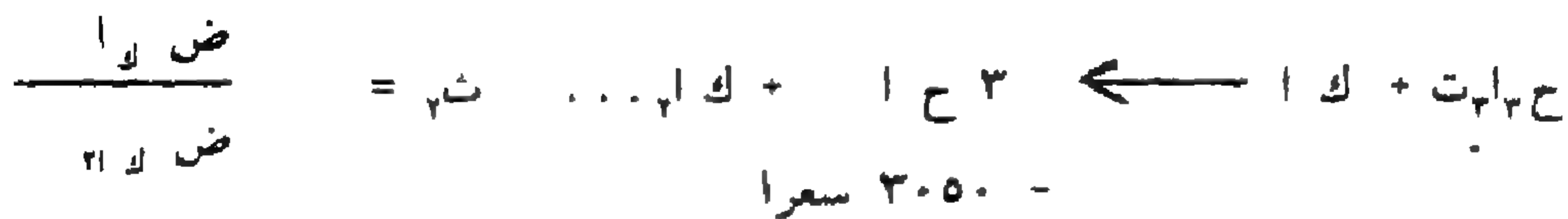
ويعنى هذا كله ، أنه يمكن ترتيب أكاسيد الحديد حسب قدرتها على الاستغناء عن الأوكسيجين المتحد بها وفي درجات الحرارة أعلى من ٥٧٠° ، على النحو التالى :

أكسيد حديدك - أكسيد الحديد المغناطيسى - أكسيد الحديدوز ، بمعنى أنه بتعرض هذه الأكاسيد للاختزال في درجات الحرارة أعلى من ٥٧٠°م (بغاز أول أكسيد الكربون مثلا) فإنها تختزل على النحو التالى :

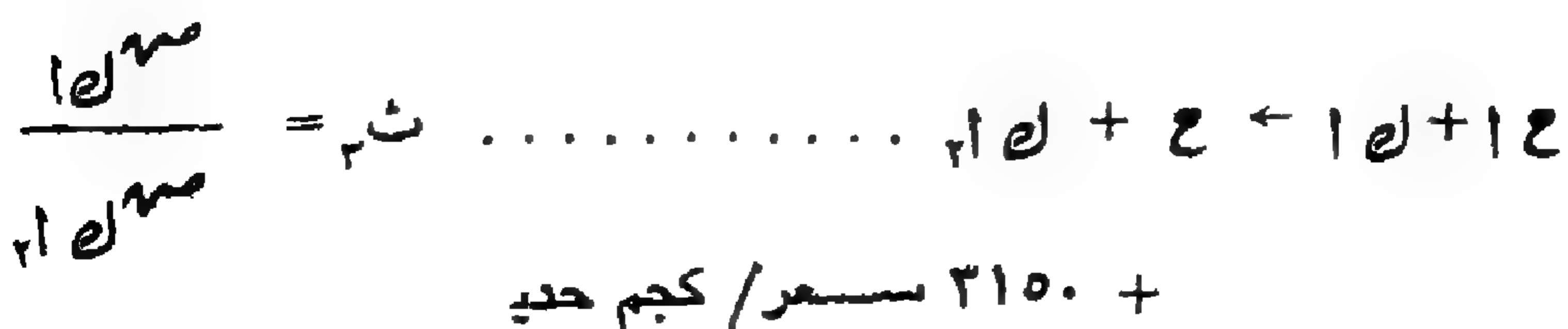
١ - أكسيد حديدك + غاز أول أكسيد الكربون - أكسيد الحديد المغناطيسى + ثانى أكسيد الكربون



٢ - أكسيد الحديد المغناطيسى + أول أكسيد الكربون - أكسيد الحديدوز - ثانى أكسيد الكربون



٣ - أكسيد الحديدوز + أول أكسيد الكربون - حديد + غاز ثانى أكسيد الكربون



وعليه فبتسخين الهيايتيت في جو مختزل ، يتحول أولاً إلى أكسيد الحديد المغناطيسي ، ثم باستمرار رفع درجة الحرارة ، وزيادة تركيز عامل الاختزال ، يختزل أكسيد الحديد المغناطيسي إلى أكسيد الحديدوز ، وأخيراً وباستمرار رفع درجة الحرارة وزيادة تركيز المختزل ، يختزل الأخير إلى حديد . وبالمثل بتسخين خام الماجنيتيت في جو مختزل ، تصبح السلسلة كالآتي :

ماجنيتيت (أكسيد الحديد المغناطيسي) — أكسيد حديدوز — حديد .
ومن عاليه يتضح أن ثابت التفاعل (ت) أقل من (ث) وهذا بدوره أقل من .
كما يتضح أن التفاعل الأول ، غير قابل الحدوث في الاتجاه المضاد للسهم ، وأنه بأقل كمية موجودة من غاز أول أكسيد الكربون ، في خليط منه مع غاز ثان أكسيد الكربون يختزل أكسيد الحديدك إلى أكسيد الحديد المغناطيسي مباشرة .
ويلاحظ من الشكل (٦٥) أن الخط الذي يمثل اختزال (ح ٢) ، إلى (ح ١) ، يتجه مع ارتفاع درجة الحرارة إلى أسفل ، بمعنى انخفاض نسبة $\frac{ك}{ا}$ اللازمة للتوازن مع انخفاض درجة الحرارة . ويمكن تعليل ذلك أن التفاعل :

ح ٢ + ك ١ ————— ح ٣ + ك ١ ٥٣٥٠ سعراً
تفاعل ماص للحرارة وبمعنى ذلك أن أية زيادة في درجة الحرارة ، تساعد استمرار التفاعل في اتجاه السهم ، أي خفض ثابت التفاعل (ث ٢) أي تخفيض نسبة (ك ١) إلى (ك ٢) اللازمة للتوازن .

كما يلاحظ أن الخط المبين للعلاقة المحددة لاختزال أكسيد الحديدوز إلى حديد ، يتجه لأعلى مع ارتفاع درجة الحرارة ، وذلك أيضاً طبعي حيث أن التفاعل :

ح ١ + ك ١ ————— ح ٢ + ك ٢ ٣١٥٠ سعراً
أي تفاعل طارد للحرارة ، وبالتالي فإن زيادة الحرارة تخفض من سرعة التفاعل في ك ١

اتجاه السهم ، بمعنى زيادة النسبة $\frac{ك}{ا}$ اللازمة للتوازن ، وبالتالي نلاحظ تلاقى هاتين العلاقتين معاً عند درجة ٥٧٠°م ، وهي درجة الحرارة التي يتساوى عندها ضغط التحلل لكل من أكسيد الحديد المغناطيسي وأكسيد الحديدوز

أما العلاقة المحددة لاختزال أكسيد الحديدك ، فنظراً إلى أن نسبة (ك ٢) اللازمة

للاتزان بالغة الانخفاض ، فإن الخط الذى يمثل هذه العلاقة يكاد ينطبق على محور درجات الحرارة عند ١٠٠٪ (ك ١) .

وتنقسم المساحة المحددة تحت الخط المحدد لعلاقة بودوارد إلى ثلاث مناطق .

١ - المنطقة الأولى « السفلى » ، وحيث نسبة (ك ١) فى غازات الاحتزال مرتفعة ، ونسبة (ك ١) محدودة . وفى هذه المنطقة يتم اختزال أكسيد الحديد إلى أكسيد الحديد المغناطيسى تماما ، بينما لم يبدأ بعد اختزال أكسيد الحديد المغناطيسى إلى أكسيد الحديدوز ، بمعنى أن هذه المنطقة تشمل منطقة ثبات أكسيد الحديد المغناطيسى ، فلو حدث وأن وجد أكسيد حديدوز فى هذه المنطقة (تحت ظروف الحرارة ونسب غازى أول أكسيد الكربون) ، وتتم أكسدته حسب المعادلة :



٢ - المنطقة الوسطى ، وتمثل منطقة ثبات أكسيد الحديدوز ، بمعنى أنه فى حالة وجود أى أكسيد حديد مغناطيسى فى ظروف هذه المنطقة ، يتم اختزاله إلى أكسيد حديدوز ، كما أنه إذا لم يوجد الحديد كمعدن بها ، لثم أكسدته حسب المعادلة الآتية :



وذلك لأن نسبة (ك ١) فى هذه الحالة ، تفوق نسبة الاتزان الديناميكى للتفاعل .

٣ - المنطقة العليا : حيث يوجد معدن الحديد بصورة ثابتة ، بمعنى أن أى أكسيد للحديد يوجد تحت الظروف المحددة للمنطقة يختزل إلى معدن ، وذلك لارتفاع نسبة (ك ١) . كما يتضح من الشكل نفسه ، أنه للحصول على الحديد باختزال أكاسيده ، يجب أن تكون نسبة أول أكسيد الكربون فى الغاز المختزل على الأقل ٦٥٪ والحرارة على الأقل ٧٠٠° م . ومع استمرار الاختزال تزداد نسبة (ك ١) ، وتنخفض نسبة (ك ١) ، بحيث يصبح هناك احتمال الوصول إلى اتزان للمجموعة ، بمعنى توقف التفاعل .

غير أن ذلك غير ممكن فى حالة الأفران العالية ، لانعدام احتمال الوصول إلى هذا التوازن تحت ظروف التشغيل العادية ، بالإضافة إلى وجود الكوك الحاوى للكربون بالفرن . وحسب تفاعل بودوارد وبيل ، وفى درجات الحرارة أعلى من ٧٠٠° م ، يتم التفاعل :



بمعنى ، استهلاك (ك ١) الناتج من الاختزال ، وبالتالي فلا يمكن الوصول بأى حال إلى

الاتزان ، حيث أن الاختزال يستهلك كل (ك ا) الناتج من التفاعل عاليه ، كما أن هذا التفاعل يستهلك كل ثان أكسيد الكربون ناتج الاختزال .

هذا هو السبب في أن أكسيد الحديد ، بالإضافة إلى أى أكاسيد للحديد ، يتم اختزالها حتى النهاية في المنطقة العلوية (المنطقة ٣) . ويجمع التفاعلين المذكورين كالآتي :



يتبع أن : ح + ا + ك — ح + ك + ا ثابت التفاعل = ض ك ٢١
هذه العلاقة تمثل ما يطلق عليه الاختزال المباشر.

والاختزال المباشر يحدث بالأفران العالية، كما هو واضح آنفاً، غير أنه أقل أهمية من الاختزال غير المباشر (بالغاز). ذلك لأن الأول يتطلب تلامس جزئيات الكربون والأكسيد المطلوب اختزاله، بينما يتمكن الغاز من اختراق المسام والشقوق بسهولة أكثر بالإضافة إلى وجود الخام محاطاً بالغاز المختزل، وبالتالي سهولة اختزاله من الأسطح. ويلاحظ في التفاعل المباشر، أن (ض ١) «الذي يعد ثابت التفاعل»، هو ضغط غاز أول أكسيد الكربون المستحدث، والذي لا يتوقف على الضغط الجزئي لغاز أول أكسيد الكربون الكلي في المجموعة، ولكنه مرتبط بالضغط الكلي للغاز بالمجموعة، وعليه وحيث أن (ض ١) يحدد ضغط الغاز لدرجة حرارة معينة ثابتة، فإنه يتضح أن زيادة الضغط تقلل من سرعة هذا التفاعل. ولقد استغلت هذه العلاقة في تحسين الاختزال غير المباشر بزيادة ضغط الغاز عند قمة الفرن العالي الحديث.

٤ - اختزال أكاسيد الحديد بالهيدروجين :

يختزل الهيدروجين أكاسيد الحديد، بنفس الترتيب المذكور في حالة الاختزال بأول أكسيد الكربون، بمعنى اختزال أكسيد الحديد إلى أكسيد الحديد المغناطيسي، وهذا إلى أكسيد الحديدوز، والأخير إلى حديد فوق درجة حرارة ٧٠٠ م°. كما يلي :



٥٢٦٠ + ١

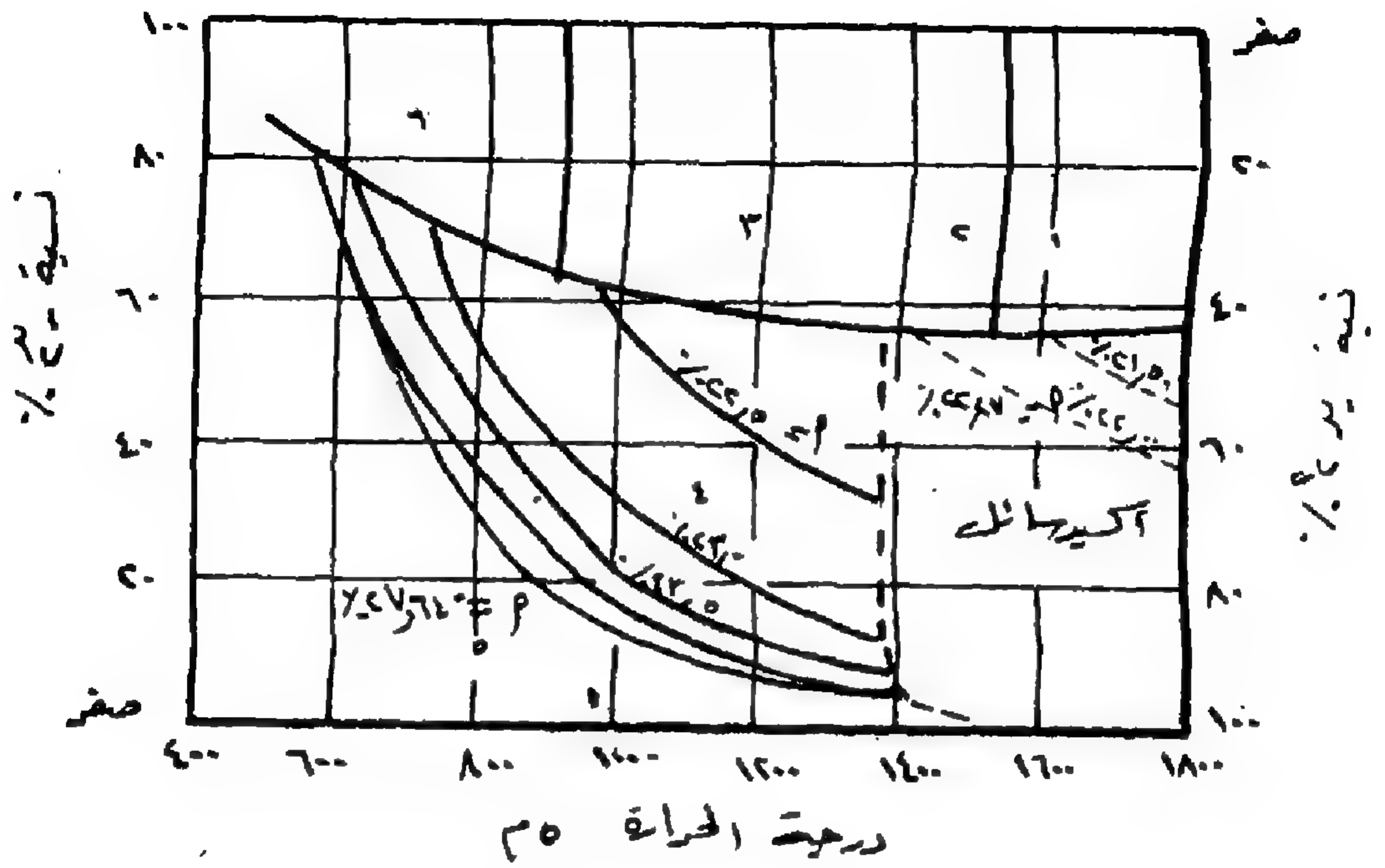


+ 109. 109



779. +

وربين الشكل (٣١) ، نسبة الهيدروجين وبخار الماء (مجموعها ١٠٠ ٪) الناظرين



شكل رقم ٣١ - اثنان المجموعه حديد - أكسيد حديد - هيدروجين

لاتزان التفاعلين (٢) ، (٣) عند درجات الحرارة المختلفة ، وتحت ضغط يعادل ١ كجم/سم^٢ والتفاعل رقم (١) يتم في اتجاه السهم عند توافر أقل نسبة من الهيدروجين في الغاز الخليط ، بحيث يكاد الخط المحد للعلاقة اتزان التفاعل ، ينطبق مع محور درجات الحرارة ، حيث نسبة بخار الماء تساوى ١٠٠٪ تقريبا .

وينقسم الشكل إلى ثلاث مناطق أيضا ، تحدد مناطق ثبات أكاسيد الحديد المغناطيسى ، وأكسيد الحديدوز ، والمعدن ، على التوالى ، فى الاتجاه لأعلى الشكل .

وفى مجال المقارنة بين الاختزال بأول أكسيد الكربون والهيدروجين ، نجد أن الاحتياجات الحرارية التى تلازم تفاعلات الاختزال بالهيدروجين ، أقل من تلك التى تلازم الاختزال بأول أكسيد الكربون ، وذلك مرجعه إلى اختلاف كمية حرارة التكوين لثانى أكسيد الكربون وبخار الماء ، حسب الآتى

$$\begin{array}{rcl} \text{ن} + \frac{1}{2} \text{ا} & \text{-----} & \text{ن} + \frac{1}{2} \text{ا} \dots\dots \\ \text{ك} + \frac{1}{2} \text{ا} & \text{-----} & \text{ك} + \frac{1}{2} \text{ا} \dots\dots \\ \hline \text{سعر} & & \text{سعر} \\ ٥٧٨١٠ + & & ٦٧٦٥٠ + \\ ٩٨٤٠ - & & \text{سعر} \end{array}$$

وهذا الفارق ثابت فى أى تفاعلات لجزئيه من الهيدروجين وجزئيه من أول أكسيد الكربون .

كما يلاحظ أن مجال استخدام (ك أ) أكبر فى الميتالورجيا بسبب تكوينه وإمكانية إعادة تركيزه فى محيط جو التفاعلات عن طريق تفاعل بودوارد . هذا بالإضافة إلى أن (ك أ) ليس عامل اختزال فقط ولكنه عامل كرينة للحديد الناتج ، حسب العلاقة التالية :



وهذا أمر ضرورى وحيوى فى حالة إنتاج الحديد الزهر .

كما يلاحظ أن الاختزال بالهيدروجين فى درجات الحرارة من ٨٢٠° م أفضل من الاختزال بغاز أول أكسيد الكربون ؛ ويعنى ذلك أن نسب الغاز المختزل (ك أ) إلى (ك ا) اللازمة للحصول على درجة معينة من الاختزال فى درجات الحرارة أقل من ٨٢٠ ، تكون أقل من نسبة (ن ا) إلى (ن ا) اللازمة للوصول إلى نفس درجة الاختزال عليه . وتتقارب قدرة الاختزال لكل من الغازين ، بارتفاع درجة الحرارة حتى ٨٢٠° م حيث يتساويا . وعند هذه الدرجة يصبح ثابت التفاعل :

$$\frac{\text{ك ١} + \text{ن ١}}{\text{ك ٢} + \text{ن ٢}} = \frac{\text{ك ١} + \text{ن ١}}{\text{ك ٢} + \text{ن ٢}} \quad \text{ث} \quad \frac{\text{ك ١} + \text{ن ١}}{\text{ك ٢} + \text{ن ٢}} = \frac{\text{ك ١} + \text{ن ١}}{\text{ك ٢} + \text{ن ٢}}$$

مساويا للواحد الصحيح بمعنى أن :

$$\frac{\text{ك ١} + \text{ن ١}}{\text{ك ٢} + \text{ن ٢}} = \frac{\text{ك ١} + \text{ن ١}}{\text{ك ٢} + \text{ن ٢}} \quad \text{ف = ١}$$

ويسمى هذا التفاعل (تفاعل الماء والغاز) .

من كل ماذكر ، يتضح أن كل تفاعلات اختزال أكاسيد الحديد ، يمكن أن تتم في درجات حرارة منخفضة عن درجة حرارة بدء انصهاره ، وبالتالي يمكن أن يوجد الحديد في صورة بلورات من المعدن صغيرة في حالة صلبة موزعة في المسام داخل الخام ، التي تولدت نتيجة سحب الأوكسيجين منه . ويأخذ الحديد الذي اختزل بهذه الصورة الشكل الإسفنجي . ويتلامس سطح المعدن المتكون مع غاز أول أكسيد الكربون ومع ارتفاع درجة الحرارة ، يتم التفاعل :

$$\frac{\text{ك ١} + \text{ن ١}}{\text{ك ٢} + \text{ن ٢}} = \frac{\text{ك ١} + \text{ن ١}}{\text{ك ٢} + \text{ن ٢}} \quad \text{ثابت التفاعل}$$

وينتج من التفاعل كربيد الحديد الذي يذوب بدوره في الحديد المختزل ، فتنخفض بذلك درجة حرارة انصهاره ، وبالتالي ينساب ذلك الحديد المختزل على هيئة قطرات من الحديد الزهر ، ليتجمع في النهاية في بودقة الصهر .
الحصول على حديد نقي :

يمكن اختزال أكاسيد المعدن في خاماته في حالة الصلابة عند درجات الحرارة المنخفضة نسبيا ، ويكون الحديد الناتج في هذه الحالة نقياً من الشوائب ، كالكربون ، أو السيليكون ، أو المنجنيز . ومن المعروف أن حديد الفا ، الثابت حتى درجة حرارة ٩٠٦ م ، له قابلية تكاد تكون منعدمة لإذابة الكربون . بمعنى أنه إذا ما تم تسخين الخام تدريجياً ، وبنظام محدد ، في جو مختزل ، ثم أوقف الاختزال بوصول درجة الحرارة إلى هذه الدرجة ، فإنه يمكن بعد تكسير الخام المختزل ، وإجراء عمليات فصل مابه من معدن (بالفصل المغناطيسي ، أو باستغلال اختلاف الوزن النوعي أو ، إلخ . . .) فإنه يمكن الحصول على حديد يكاد يكون نقياً من الشوائب . وتعتبر هذه طريقة للحصول على الحديد النقي مباشرة . ويشترط فيها إتمامها في درجات حرارة دون درجة الانصهار .

٥ - تحليل الكربونات :

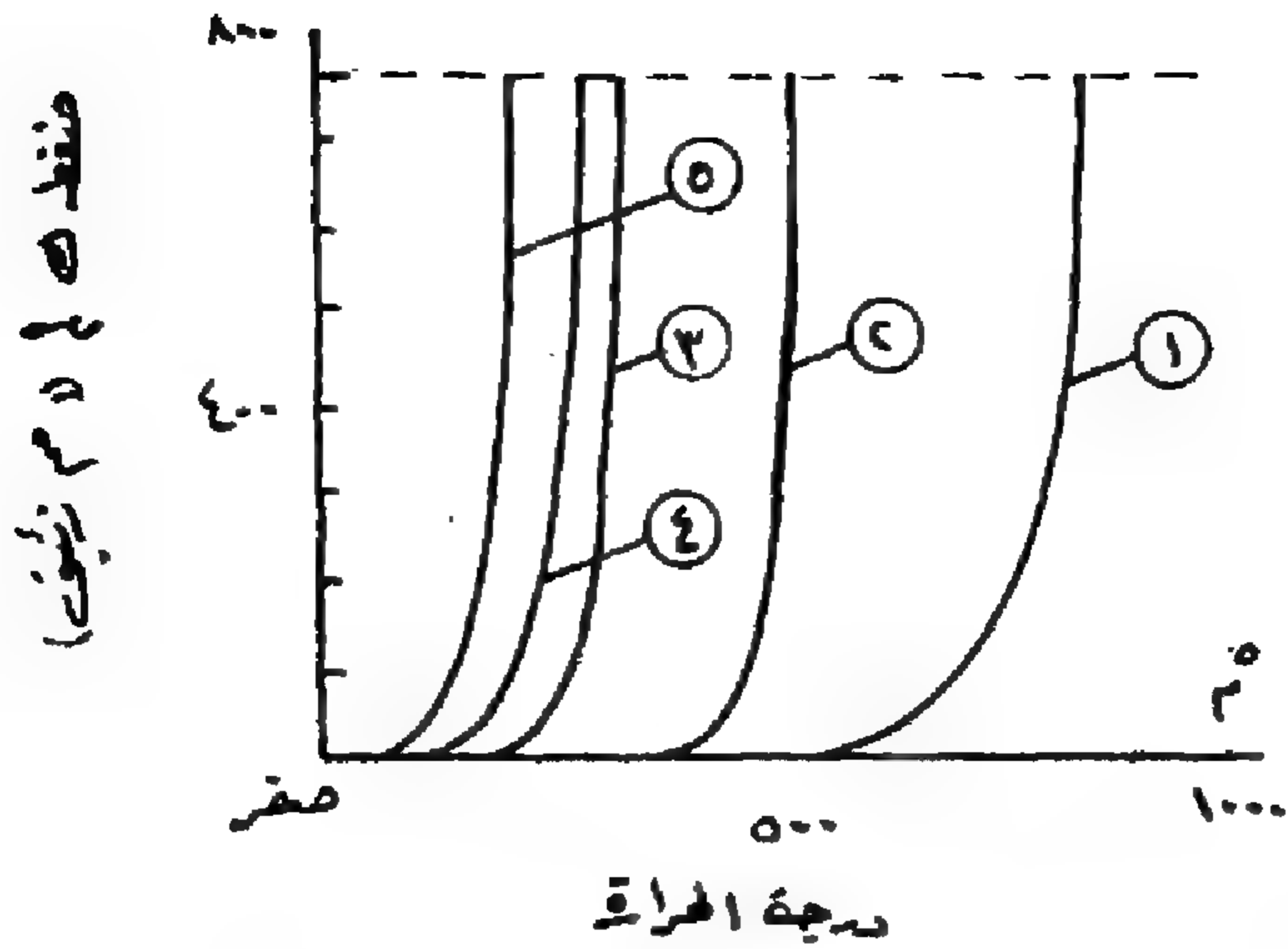
يتحد ثاني أكسيد الكربون مع أكاسيد المعادن مكونا كربوناتها، مثل السيدريت (كربونات الحديدوز (ح ك أ) أو كربونات الحديدوز، أو كربونات الرصاص «السيروزيت (رك أ)، إلخ... وتحلل هذه الكربونات بتسخينها إلى ثاني أكسيد الكربون وأكسيد المعدن حسب الآتي :

ح ك أ بالتسخين ح أ + ك أ ثابت التفاعل \approx ٢١

ويعنى ذلك، إمكان الحصول على أكاسيد هذه المعادن بتسخين كربوناتها. وتسمى هذه العملية بالكلسنة، ثم معالجة الناتج بعد ذلك بالاختزال للحصول على المعدن. ويلاحظ أن التفاعل في اتجاه السهم، تفاعل ماص للحرارة، أى زيادة سرعته في نفس الاتجاه مع زيادة درجة الحرارة؛ بمعنى أنه لو وجد السيدريت في مكان مغلق، ورفعت درجة الحرارة بالتسخين (بتيار كهربائي مثلا) فإنه يبدأ في التحلل عند درجة الحرارة التي يصبح فيها ضغط التحلل (ض ك أ) ممثلا للضغط الجزئي لغاز ثاني أكسيد الكربون في جو المكان أعلى الكربونات والأكسيد، ومع استمرار رفع درجة الحرارة، تزداد سرعة التحلل، حتى الوصول إلى حالة الاتزان.

وعليه فلو كانت الكربونات موجودة في مكان مفتوح، فإنه بارتفاع درجة الحرارة، يزداد ضغط التحلل (ض ك أ) ويزداد تبعا لذلك خروج غاز ثاني أكسيد الكربون الذي يندفع إلى الجو، بمعنى ابتعاد ناتج التفاعل عن محيط التفاعل، وبالتالي التأثير على اتزان المجموعة، بمعنى استمرار التفاعل في اتجاه السهم، ويبلغ التفاعل أقصاه، عندما يصل ضغط التحلل بارتفاع درجة الحرارة إلى ضغط جوى.

والشكل (٣٢) يوضح العلاقة بين درجة الحرارة وضغط التحلل لبعض الكربونات الهامة، والتي تلعب دورا في تفاعلات الأفران العالية، وهى كربونات الحديد (السيدريت ح ك أ)، وكربونات الكالسيوم (الحجر الجيري ك ك أ)، وكربونات المغنيسيوم (مغ ك أ).



شكل ٣٢ - ضغط تحلل بعض الكربونات بدراجات الحرارة

ويلاحظ من الشكل ترتيب تحللها كالاتي :

كربونات الحديد ، ثم كربونات المغنيسيوم ، ثم كربونات الكالسيوم . كما هو واضح من الجدول الثاني :-

..... كربونات الحديد كربونات الماغنسيوم كربونات الكالسيوم

درجة حرارة بدء التحلل م	٢٨٠	٤٠٠	٦٠٠
درجة الحرارة التي يصل فيها إلى ضغط جوى	—	٥١٠	٨٨٣

وهذا التفاعل يمكن حدوثه في الاتجاه المضاد ، وذلك بزيادة ضغط غاز ثاني أكسيد الكربون أعلى الأكسيد (بفرض أنها في مكان مغلق) . وتأتي أهمية هذه التفاعلات بالنسبة للأفران العالية ، ليس فقط من أنها تفاعلات ماصة للحرارة ، وبالتالي تؤثر على الميزان الحرارى للفرن ، وتقلل من سرعة تجهيز الشحنة وإعدادها ، لكن ، لأنها تؤثر في قدرة غازات الأفران العالية الاختزالية ، فتقللها نتيجة إضافة ثاني أكسيد الكربون الناتج من التحلل .

هذا بالإضافة إلى أن خروج غاز ثاني أكسيد الكربون ناتج تحلل الكربونات ، يغلّق المسام والفتحات أمام دخول غاز الأفران العالية ، وبالتالي ففي حالة السيدريت ، يؤخر من بدء اختزال الخامة إلى حد ما ولكن حيث أن تحلل السيدريت يتم في درجات حرارة منخفضة - تكون سرعة تفاعل الاختزال فيها محدودة وبطيئة - فإن تأثير خروج ثاني أكسيد الكربون ، يكاد يكون غير ذي خطورة ، على سرعة إتمام سلسلة تفاعلات الاختزال .

٦- تحليل الأكاسيد العالية، والهيدروكسيدات والكبريتيدات:

على غرار ماسبق ذكره ، تتحلل الأكاسيد العالية ، والهيدروكسيدات ، والكبريتات ، والكبريتات ، مع ارتفاع درجة الحرارة ، وزيادة ضغط تحلل كل منها ، ويتبع هذا التحلل تكون غازات عديدة مثل الأوكسيجين ، وبخار الماء ، وثالث أكسيد الكبريت على التوالي . ونورد فيما يلي بعضا من هذه التفاعلات ، على سبيل المثال وليس الحصر :

(١) الأكاسيد العالية :



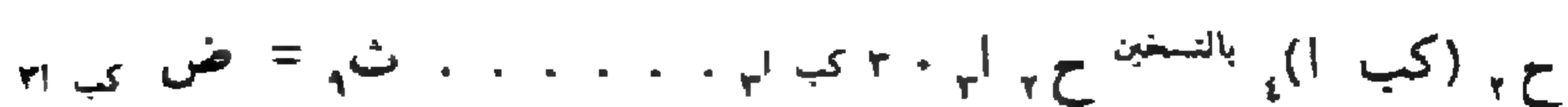
(١) الأكاسيد العالية :



(ب) الهيدروكسيدات :



(ج) الكبريتات :



٧ - طرق تخليص المعدن من الكبريت :

واستكمالاً للهدف من شرح بعض التفاعلات عن طريق ربطها بنظريات الكيمياء الطبيعية وقوانين الديناميكا الحرارية ، نرى لزوماً التعرض لبعض التفاعلات الهامة التي تحدث في صناعة الحديد والصلب عامة ، وفي الأفران العالية خاصة ، في شرح مبسط هادف ، وأهمها :-

١ - إزالة الكبريت : يمكن أن يتم التخليص جزئياً من الكبريت الموجود بالحديد الزهر ، بإحدى الطرق التالية :

١ - استخدام المنجنيز :

ويتم ذلك حسب التفاعل الآتي :



وحيث إن كبريتيد الحديد قابل للذوبان في الحديد ، يتضح أن هذا التفاعل يصل إلى حالة الاتزان قبل تخليص الحديد الزهر من كل الكبريت الموجود به . وبالتالي يمكن القول بأنه لا يمكن إزالة الكبريت من المعدن كلية ، عن طريق استخدام المنجنيز فقط . ولكن من المعروف أنه كلما ارتفعت درجة الحرارة ، كلما ارتفعت نسبة المنجنيز التي توجد في اتزان مع كمية معينة من الكبريت ، بمعنى أن التخلص من الكبريت باستخدام المنجنيز ، يتحسن مع انخفاض درجة الحرارة ، مما يدعو أحياناً إلى تخفيض سرعة القطار الذي ينقل الحديد الزهر - المحتوي على المنجنيز والكبريت - مابين الأفران والصلب .

٢ - باستخدام الخبث : عند انسياب قطرات الحديد داخل الفرن ، واختراقها طبقة الخبث ، تتم إزالة الكبريت من سطحها ، بواسطة جير الخبث حسب التفاعل :



ويدخل كبريتيد الجير الخبث بالانتشار ، أما أكسيد الحديدوز ، فيختزل بعدئذ بواسطة كربون الكوك اختزالاً مباشراً كالآتي :



وتتخلف عن ذلك فقاعات غاز أول أكسيد الكربون على سطح القطرة ، مما يقلل من وزنها النوعي ، فتطفو داخل الخبث ثانية ، وهكذا تتكرر الدورة مع المزيد من إزالة الكبريت ويتم ذلك أيضا مع الماغنيسيا وأكسيد المنجنيز حسب الآتي :

كبريتيد الحديدوز + الماغنيسيا ——— أكسيد الحديدوز + كبريتيد الماغنيسيوم



كبريتيد الحديدوز + أكسيد المنجنيز ——— أكسيد الحديدوز + كبريتيد المنجنيز

ينتج أن إجمالي الكبريت (ك ب) = [ك ب ح] + [ك ب م] + [ك ب س] + [ك ب ي]

حيث (ك ب) م - كمثال - تعني الكبريت المتحد بالمنجنيز في الخبث .

ومنه يتضح أن إزالة كبريت المعدن تتحسن كلما ازدادت نسبة توزيع الكبريت بين الخبث والحديد ، وهذه تتوقف كما وضع أنفا على :

(١) كمية الجير غير المرتبط والماغنيسيا في الخبث (٢) كمية المنجنيز في الحديد

٣ - انخفاض نسبة الأوكسيجين في الخبث والحديد (٤) ارتفاع درجة الحرارة .

(٥) توافر جو مختزل .

وتتراوح نسبة الكبريت التي يمكن التخلص منها ما بين ٥ إلى ٢٠٪ من الكمية المشحونة في حالة الخبث القاعدي ، بينما تصل حتى ١٪ فقط في حالة الخبث الحامضي ، ذلك لأن كبريتيد الكالسيوم وكبريتيد الحديد ، لها قابلية صغيرة للذوبان في الخبث الحامضي .

ولما كان وجود شوائب المعدن الأخرى كالسيليكون والكربون والفوسفور لها تأثيرها على مدى إمكانية التخلص من الكبريت ، بسبب تأثيرها على المؤثرات المذكورة ، فإنه قد أمكن استغلال ذلك في قياس درجة التخلص من الكبريت بالفرن العالي ، وذلك بمعرفة كمية السيليكون الذائبة في المعدن ، حيث أن :



حيث يكون ثابت التفاعل :

$$\frac{(كا كب) (س ا) (ح) ^2}{(ح كب) (كا ا) (س)}$$

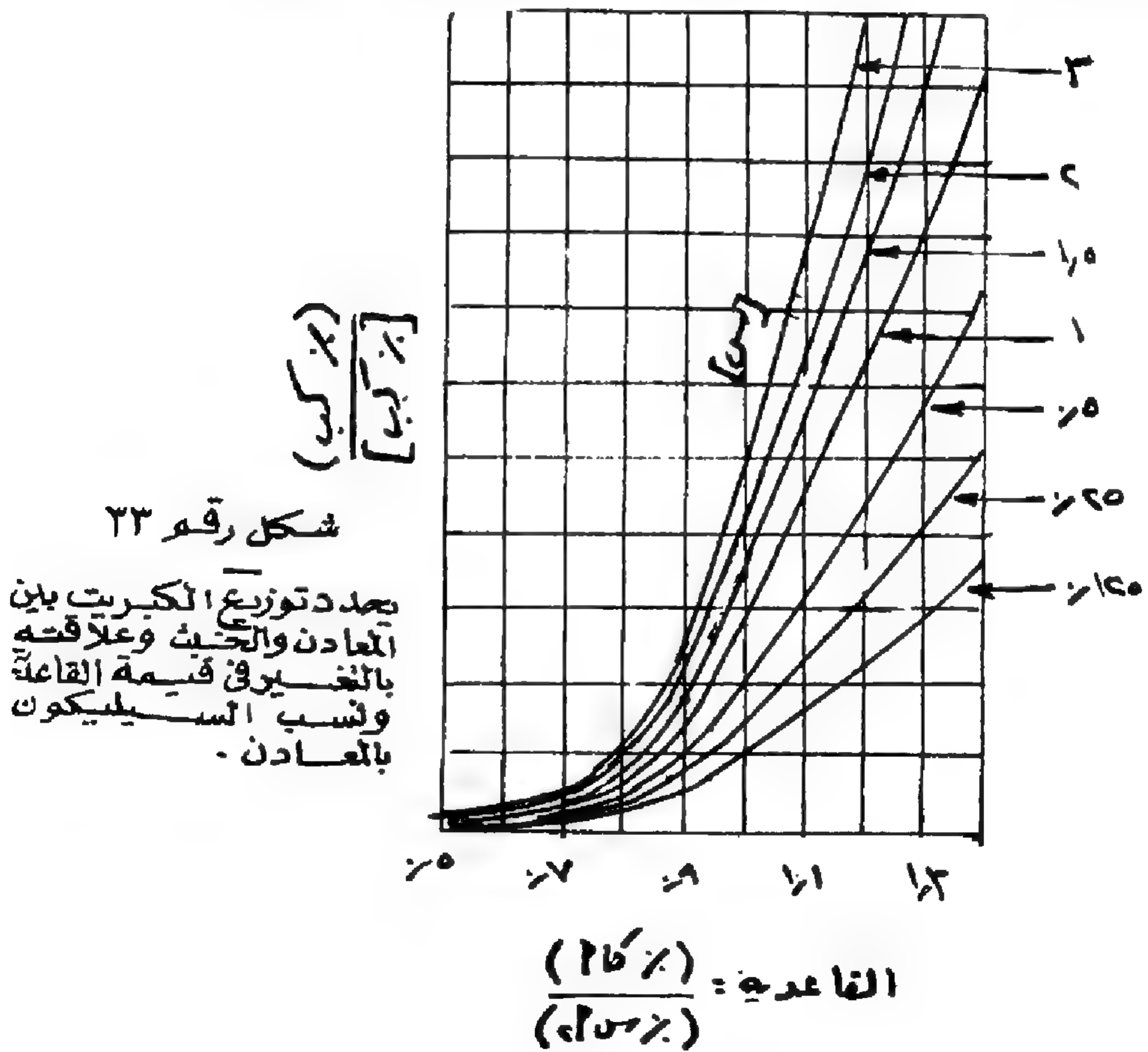
= ث

وحيث أن $\frac{(كا ا)}{(س ا)}$ مقدار ثابت يمثل (قاعدية الخبث)

يتضح أنه يمكن كتابة المعادلة (١) كالآتي :

$$\frac{1}{[س]} \cdot ل كب = \frac{(كب)}{[س] \cdot [كب]} = \frac{(كا كب) ^2}{[س] ^2 [كب]} = ثابت$$

حيث ل ي درجة توزيع الكبريت بين الخبث والحديد
ومنه يتضح إمكانية الحكم على مدى إزالة الكبريت بالفرن العالي ، بمعرفة نسبة
السيليكون في الحديد الزهر ، والشكل (٢٣) يوضح هذه العلاقة .



٣ - إزالة الكبريت خارج الفرن العالي :

يتم ذلك بإضافة الصودا الكاوية أو « كربونات الصوديوم » (ص ٢ ك أم) أو كربيد الكالسيوم (كا ك ٢) إلى المعدن في بواق الصب ، أو خلال انسيابه في مجارى الحديد ، ويتبع ذلك خروج غازات وأبخرة ضارة . ويمكن بإضافة هذه المواد بنسب مختلفة التخلص من ٤٠ إلى ٧٠٪ من الكبريت الأصلي الموجود بالمعدن . ويتم التفاعل كالاتي :

(أ) كربونات الصوديوم :

كربونات الصوديوم + كبريتيد الحديد + الكربون ————— كبريتيد الصوديوم + أكسيد الحديدوز

ص ٢ ك أم + [ح ك ب] + ك ————— (ص ٢ ك ب) + ح ا + ك ا + أول أكسيد الكربون

(ب) كربيد الكالسيوم :

كربيد الكالسيوم + أكسيد الكالسيوم + كبريتيد الحديد ————— حديد + كبريتيد الكالسيوم كا ك ٢ + كا ا + ٣ [ح ك ب] ————— ٣ [ح] + ٢ كا ك ب + ٢ ك ب ا + أول أكسيد الكربون

وليس للإضافات المذكورة ، تأثير على تحليل باقى مكونات الحديد الزهر ، ولكن تأثيرها اقتصاديا يتمثل فى زيادة تكاليف مرحلة إنتاج الحديد الزهر .

٨ - علاقة نسبة كل من المنجنيز والسيليكون فى الحديد الزهر :

من العلاقات الهامة بالنسبة لتفاعلات الأفران العالية ، تلك العلاقة ما بين عنصرى المنجنيز والسيليكون ، والتي يمكن إيضاها حسب مايلى :

١ - يختزل كربون الكوك فى درجات الحرارة العالية جزءا من سيليكات الخبث وكما يلى :

(س ا ٢) + ٢ ك ————— [س] + ٢ ك ا (١)

٢ - كما يختزل كربون الكوك جزءا من أكسيد المنجنيز الموجود فى الخبث حسب التفاعل الآتى :

٢ (م ا) + ٢ ك ————— ٢ (م ا) + [س] (٢)

ويطرح (٢) من (١) ينتج :

(س ا ٢) + ٢ [م] ————— ٢ (م ا) + [س] (٣)

حيث ثابت التفاعل :

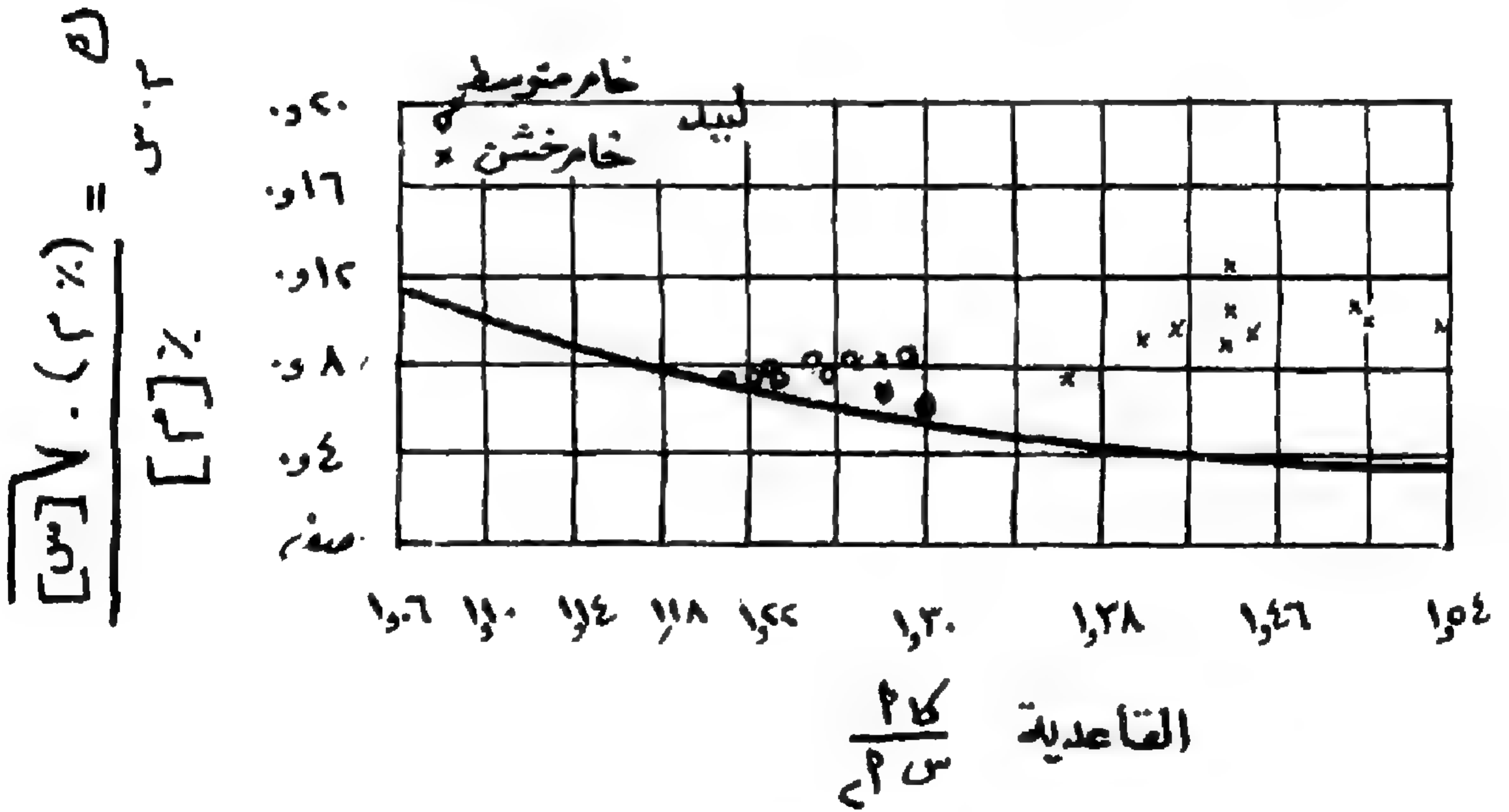
حيث أن (س أ) = ثابت

والشكل (٣٤) يبين العلاقة بين الثابت المذكور وقاعدية الخبث ، ومنه يتضح أنه بتحليل أى من السيليكون أو المنجنيز ، يمكن معرفة نسبة الآخر بالمعدن .

التفاعلات الكيميائية بالفرن العالى :

بعد هذا الاستعراض السريع المبسط للأسس والقوانين التى تحكم أهم التفاعلات التى تتم بالأفران العالية ، وحتى يمكن الإلمام بما يحدث داخل الفرن ، ولزيادة الإيضاح ، رؤى تقسيم هذه التفاعلات إلى مايلى :

- ١ - التفاعلات والتغيرات التى تعترى عامود الشحنات الهابطة .
- ٢ - التفاعلات والتغيرات التى تعترى عامود الغازات الصاعدة .



شكل رقم ٣٤ - يحدد العلاقة بين قيمة الثابت $\frac{P}{S}$ وقاعدية الخبث

١- التفاعلات والتغيرات التي تعترى عامود الشحنات الهابطة :

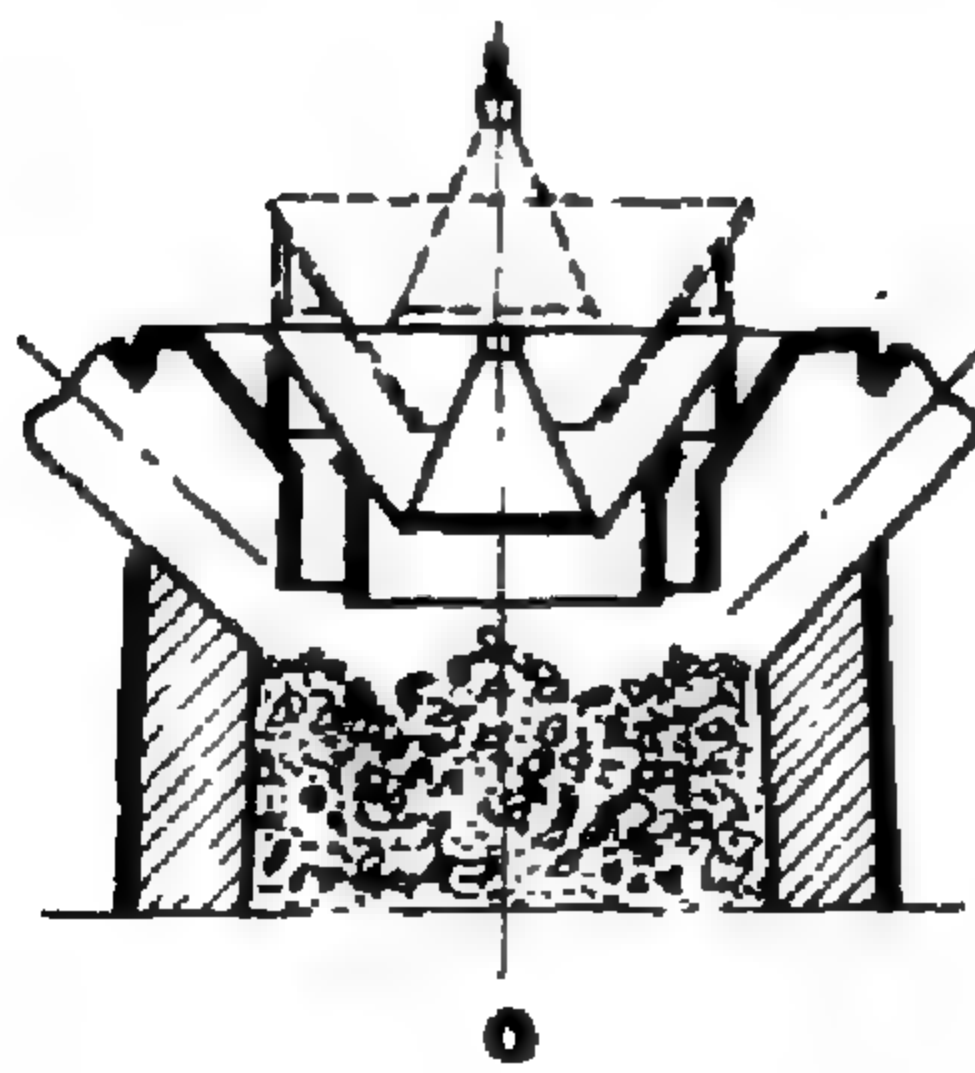
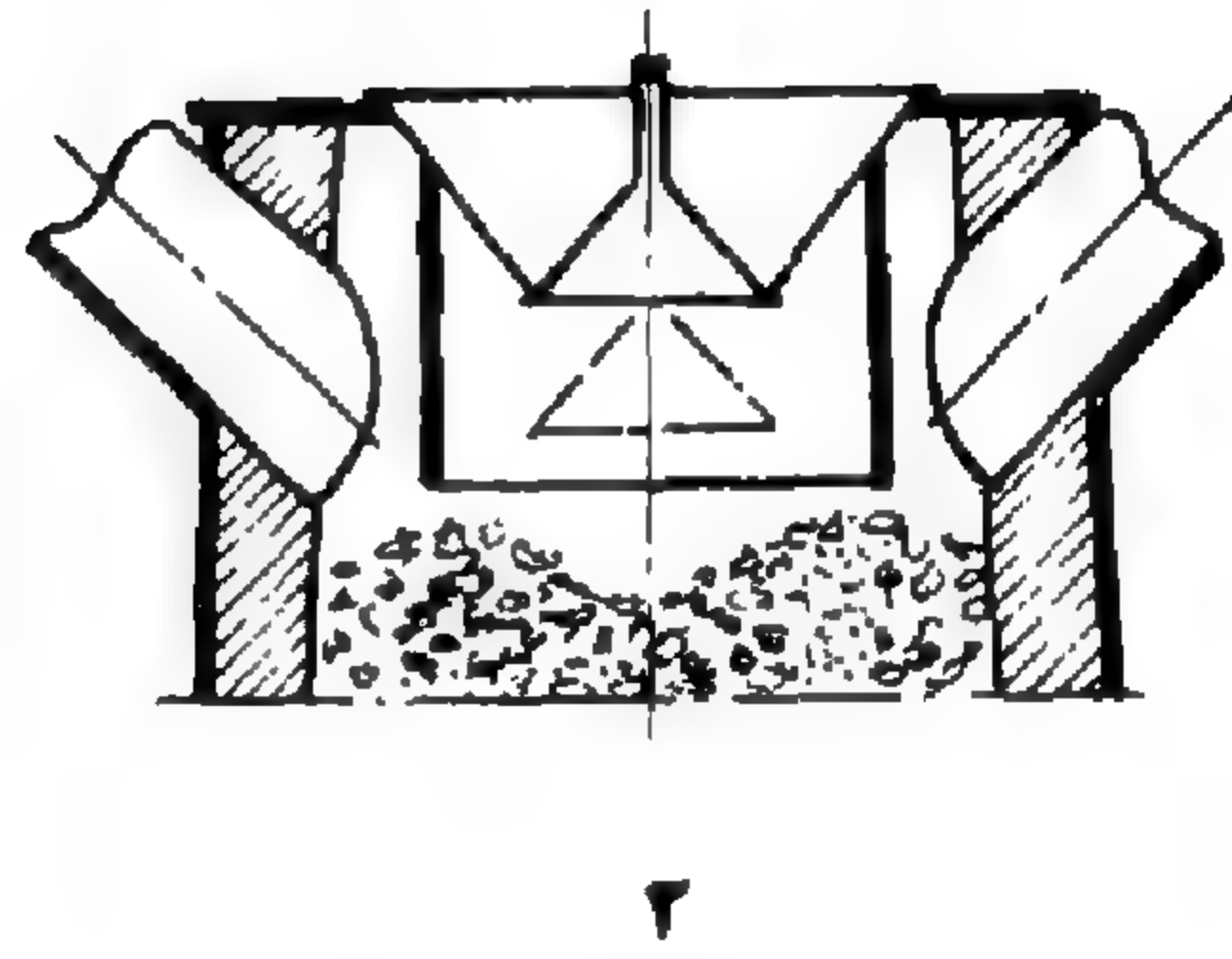
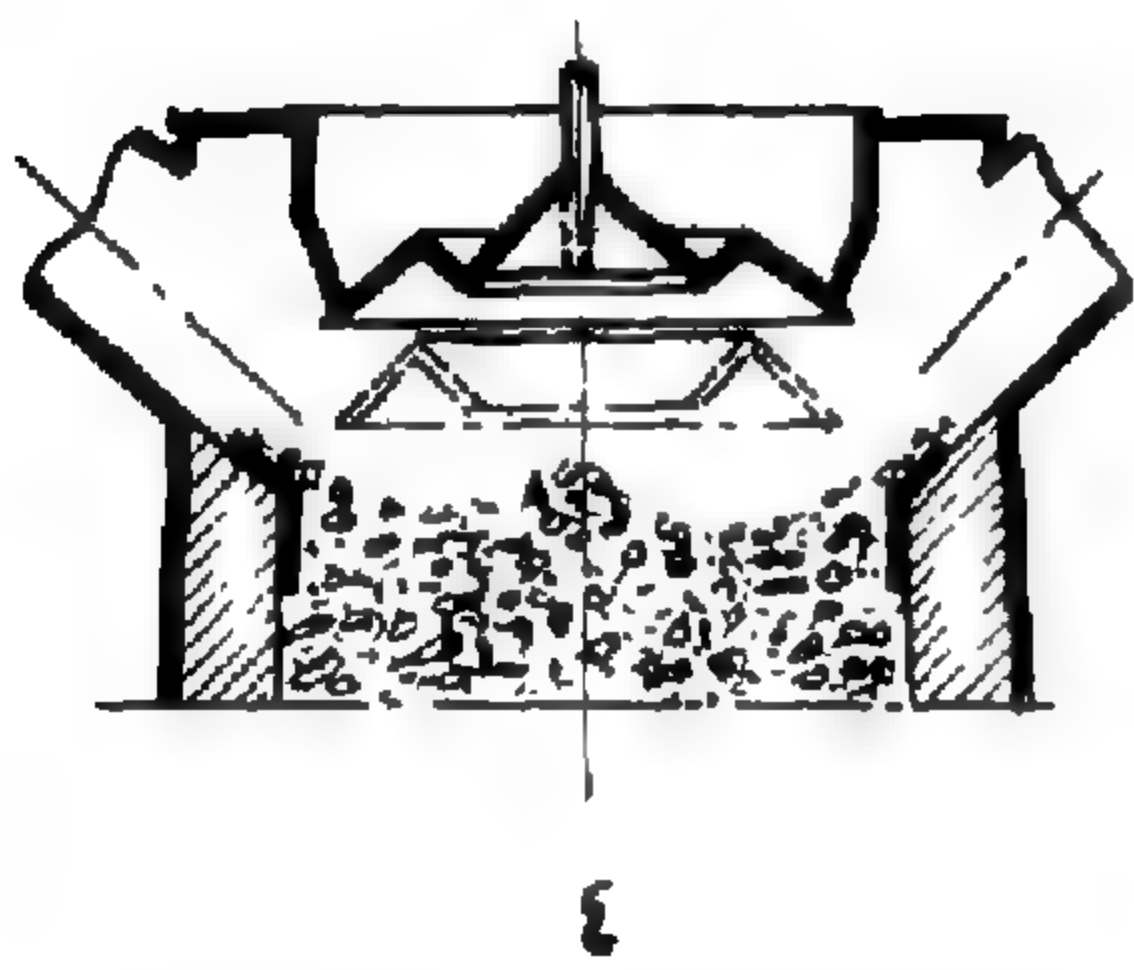
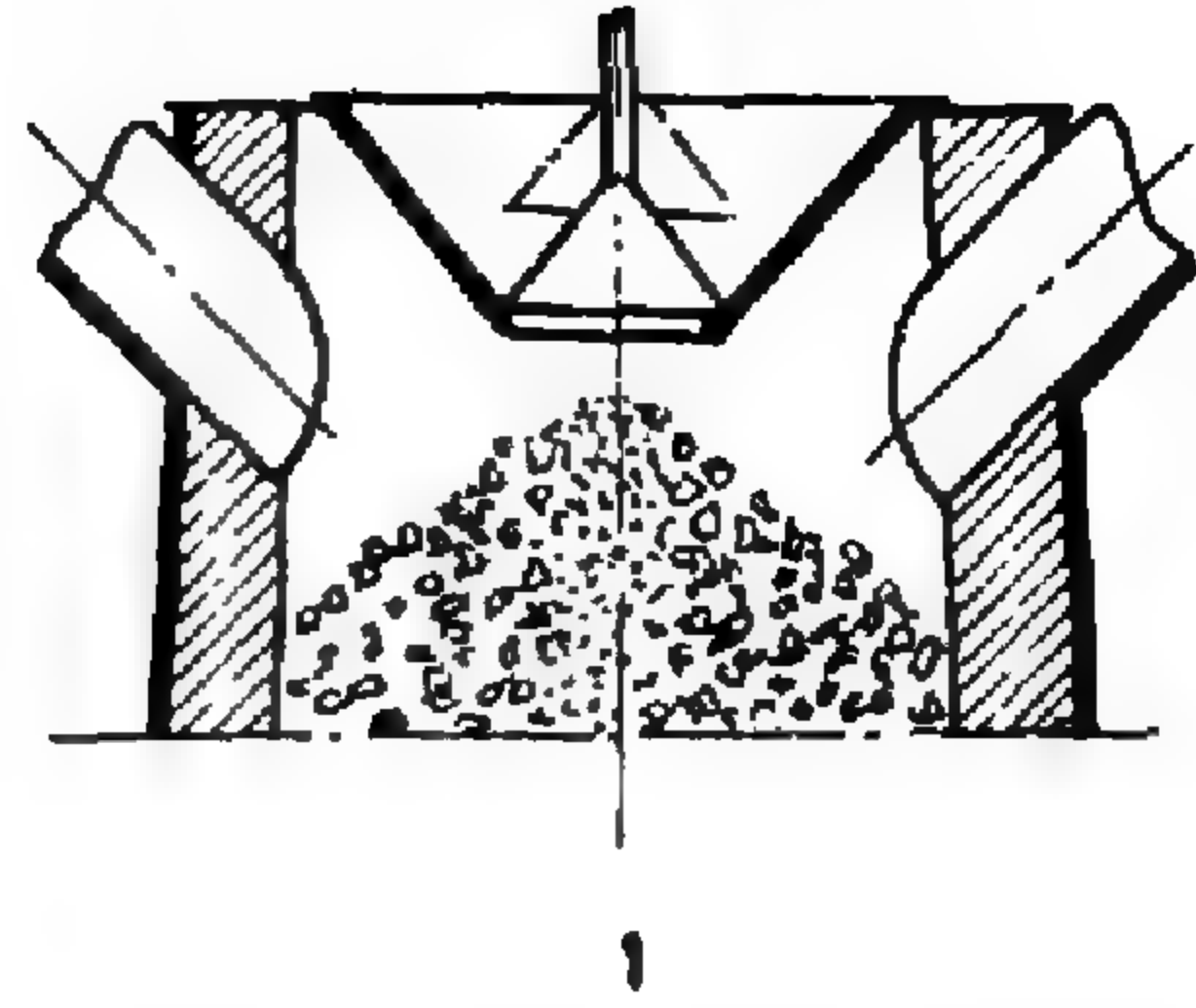
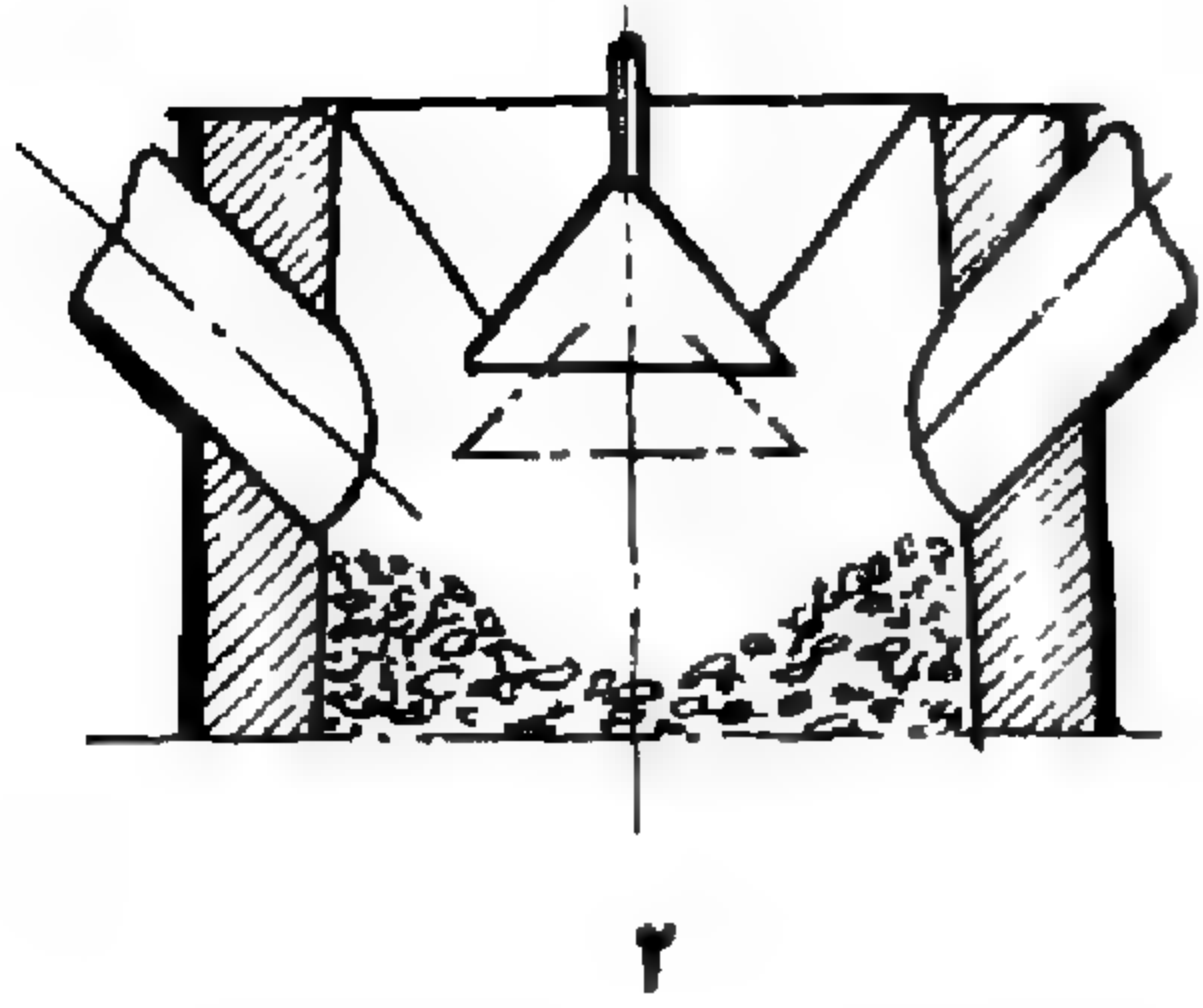
تشحن عادة مكونات شحنة الأفران العالية من الخام والإضافات ومساعد الصهر مع بعضها بعضاً ، كوحدة مجتمعة ، بينما يشحن الكوك اللازم لها كوحدة منفصلة عنها . ويجرى ذلك في شحنات متعاقبة ، وحسب نظام الشحن المحدد للتشغيل ، لتكتسب المشحونات شكل طبقات متجانسة منفصلة إلى حد ما ، في أعلى الفرن الشكل (٣٥) ، وباستمرار الهبوط والتعرض لدرجات الحرارة المتزايدة ، تتمازج هذه الطبقات وتختلط مكوناتها بعضها مع بعض ، ويزداد هذا الاختلاط والتمازج ، كلما هبطت الشحنات إلى مستوى أقل .

وتمر المشحونات في هبوطها بمناطق الفرن المختلفة ، فتعرض للظروف التي تتميز كل منها بها . ولسهولة تفهم ما حدث بداخل الفرن من تفاعلات ، سنسردها فيما يلي بالتفصيل ، موزعة على مناطق الفرن المتتالية ، ويجب ملاحظة أننا نتعرض لهذه التفاعلات من الناحية النظرية البحتة ، دون الأخذ في الحسبان ، التأثير الذي يحدث نتيجة المؤثرات الأخرى مثل طبيعة المشحونات ، أو التوزيع الحجمي لمكوناتها ، أو شكل الفرن وحجمه ، أو درجة حرارة الهواء اللافح ، الخ ..

وفي الحقيقة ، لا يمكن القول بأن هذا التفاعل أو ذلك ، يتم على ارتفاع معين من فتحات نفخ الهواء بالفرن ، ذلك لأن الظروف الطبيعية والكيميائية ، التي تلعب دوراً هاماً في سرعة وكيفية ونتائج هذه التفاعلات ، تتغير داخل الفرن الواحد من لحظة لأخرى . كما أنها بدورها تختلف من فرن لآخر . ولكن ، وتجاوزاً عما جاء آنفاً وللإيضاح ، يمكن تقسيم هذه التفاعلات على مناطق الفرن المختلفة كما يلي :

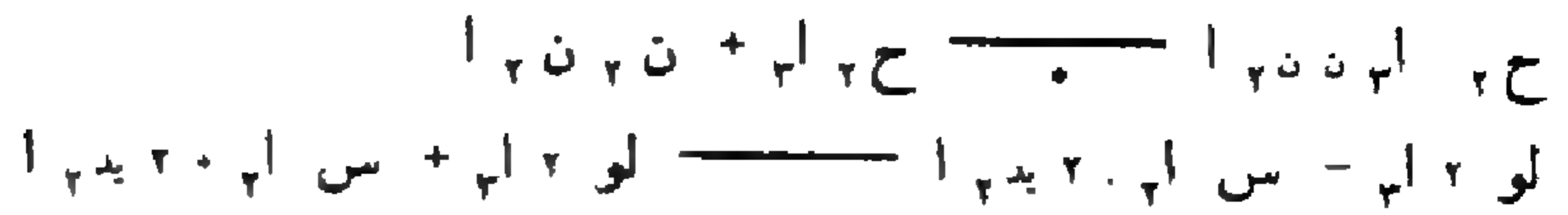
(١) التفاعلات التي تتم في الجزء العلوي من المخروط العلوي :

تتعرض المشحونات في هذه المنطقة لعمود الغازات الصاعدة الساخن ، فترتفع درجة حرارتها تدريجاً حتى ٤٠٠ إلى ٤٥٠ م° ، ونتيجة لذلك ، تتطاير الرطوبة التي يحتويها الكوك والخامات المشحونة ، والتي يتم التخلص منها نهائياً عند رفع درجة حرارة هذه المشحونات إلى ٢٠٠ م° . ولما كانت بعض خامات الحديد والإضافات قد تحتوي الماء في صورة مركب كيميائي متحد بها ، فإن التخلص منه يقتضي رفع درجة حرارة هذه الخامات إلى أعلى من هذه القيمة (تقريباً ٣٥٠ م°) ، حتى يصل ضغط التحلل لبخار الماء إلى ضغط الغازات



شكل (٣٥)
طرق الشحن المختلفة وأثرها
على شكل سطح الشعنة

المحيطة ، ويعنى ذلك أن خروج الماء المتحد كيميائياً بالخامات يتم في هذه المنطقة من الفرن ، ومثال ذلك :



وهنا يجب ذكر أن درجة الحرارة المقصودة ، هي درجة حرارة مركز قطعة الخام ، وليس درجة حرارة أسطحها الخارجية .

(ب) التفاعلات يباقي المخروط العلوى والأسطوانة :

في هذه المنطقة ترتفع درجة الحرارة تدريجاً من ٤٠٠° م الى ١٠٠٠° م ، وفي الجزء العلوى منها عند درجة حرارة ٤٠٠ الى ٥٠٠° م ، يبدأ اختزال أكاسيد الحديد بغاز أول أكسيد الكربون ، وينتج تبعاً لذلك الحديد النقي ، في صورة إسفنجية مختلطة بشوائب الخام . في درجة حرارة ٦٠٠° م يبدأ خروج المواد المتطايرة الموجودة بالكوك تدريجاً في صورة غازية ، ويتم التخلص منها نهائياً عند درجة حرارة ٨٠٠° م ويلاحظ ، نتيجة لذلك ، أنه في خلال هبوط الكوك والمشحونات داخل الفرن ، تكون درجة حرارة سطح الكوك دائماً أقل من درجة حرارة أسطح الخامات المجاورة ، ذلك أن الكوك يتعرض لتفاعلات ماصة للحرارة بينما تتعرض الخامات لتفاعلات طاردة نسبياً للحرارة .

وعند درجة حرارة ٤٥٠° م يبدأ تحلل كربونات الحديد والمنجنيز ، ويعقبها عند درجة ٦٠٠ الى ٧٠٠° م بدء تحلل الحجر الجيري (كربونات الكالسيوم كا ك أم) ، والدولوميت (كا ا . مغ ا . (ك ا ٢) (٢) ،

حسب الآتى :-

وحسب حجم قطع الخام أو الدولوميت أو الحجر الجيري المستخدم ، يستمر هذا التحلل ، وينتهى عند درجة حرارة ١٠٠٠° م نهائياً .

وخلال التدرج الحرارى الكبير من ٤٥٠° الى ١٠٠٠° م في هذه المنطقة ، تتزايد نسبة غاز أول أكسيد الكربون ، ويتحلل غاز ثانى أكسيد الكربون حسب قانون بودوارد ، وبالتالي تتناقض نسبته في الغاز المحيط بمعنى زيادة القدرة الاختزالية للغازات . وبالتلاحم بين غاز أول أكسيد الكربون وخام الحديد ، وبالتالي أكاسيد الحديد ، يبدأ اختزالها اختزالاً غير مباشر ، من أكسيد حديدك ، إلى أكسيد الحديد المغناطيسى ، ثم إلى أكسيد الحديدوز ، ونسبياً إلى حديد حيث ينساب الجزء الباقى من أكسيد الحديدوز دون اختزال ، إلى مناطق

الفرن السفلى والأعلى حرارة ، وتتم هذه السلسلة من التفاعلات حسب المعادلات الآتية :

$$3 \text{ ح } 2 \text{ ا } + \text{ ك } 1 \text{ ————— } 2 \text{ ح } 2 \text{ ا } + \text{ ك } 1 \text{ طارد للحرارة } + (15050 \text{ كالورى})$$

$$\text{ح } 2 \text{ ا } + \text{ ك } 1 \text{ ————— } 3 \text{ ح } 1 + \text{ ك } 1 \text{ ماص للحرارة } - (15050 \text{ كالورى})$$

$$\text{ح } 2 \text{ ا } + \text{ ك } 1 \text{ ————— } 3 \text{ ح } 1 + \text{ ك } 1 \text{ ماص للحرارة } - (15050 \text{ كالورى})$$

$$\text{ح } 1 + \text{ ك } 1 \text{ ————— } 3 \text{ ح } 1 + \text{ ك } 1 \text{ طارد للحرارة } + (3150 \text{ كالورى})$$

 (إجمالى = + 62 كيلو كالورى / كجم حديد)

ومنه يتضح أن اختزال أكسيد الحديدوز اختزالاً غير مباشر ، يضيف حرارة إلى الفرن ، بمعنى تخفيض استهلاك الكوك الذى يعد فى غاية الأهمية لاقتصاديات تشغيل الأفران العالية . وعليه أصبح من واجبات العاملين بالأفران العالية ، زيادة كمية أكسيد الحديدوز التى تختزل اختزالاً غير مباشر ، رغم مايقابل ذلك من انخفاض القيمة الحرارية لغاز الأفران العالية المنتج .

وتتراوح نسبة الاختزال غير المباشر - لأكاسيد المعدن بالخام - بالأفران العالية ما بين ٤٠ و ٧٠% ، وتتوقف إلى حد بعيد على خواص الخام المستخدم ومدى اختزالته ، وكذا على ظروف تشغيل الفرن .

وابتداء من درجة حرارة ٥٠٠° م يشارك الهيدروجين الموجود فى الغازات ، فى اختزال أكاسيد الحديد ، بنفس الترتيب السابق .

ويكون الحديد الذى تم اختزاله فى بدء المرحلة ، فى حالته الصلبة نقياً من الشوائب ، ومع استمرار هبوطه بالفرن ، يصل إلى درجة حرارة أعلى ، حيث ينصهر .

هذا فيما يختص بأكاسيد الحديد المشحونة ، أما الأكاسيد الأخرى كأكسيد الكالسيوم ، وأكسيد المغنيسيوم ، وأكسيد السيليكون ، وأكسيد الألومنيوم ، وأكسيد المنجنيز ، والكبريت ومركباته ، فخلال هبوطها بالفرن ، ترتفع درجة حرارتها ، وتتميع ثم تنصهر ، وتتجمع فى الأسطوانة إذ أن اختزالها يحتاج إلى حرارة كبيرة غير متوافرة فى المناطق العليا من الفرن ، بالإضافة إلى أن ضغوط نحللها صغيرة ، وبالتالي فنسب غاز أول أكسيد الكربون المطلوبة لإتمام الاختزال ، أكبر بكثير من النسبة الموجودة بهذه المنطقة من الفرن .

غير أنه يمكن اختزال الأكاسيد العالية ، فثلا يمكن اختزال أكاسيد المنجنيز العالية حسب التفاعل الآتي :



ولكن لا يمكن اختزال (م ١) ، الذي يختزل بعدئذ في المناطق التالية الأكثر حرارة ، وبالحديد الذي تم اختزاله ، أو بالكربون ، كالآتي :



أما خامس أكسيد الفوسفور الموجود في فوسفات الكالسيوم [(كا ١) فو ٢ اه] ، أو ، (كا ١) فو ٢ اه] ، فيتم اختزاله بغاز أول أكسيد الكربون بعد اتحاد جير الفوسفات بسيليكات الخامات ، وتحرر خامس أكسيد الفوسفور (فو ٢ اه) وذلك على النحو التالي :



الكربون



وحيث أن ثاني أكسيد الكربون غير ثابت في مثل درجة الحرارة هذه الدرجة ، وفي وجود الكوك المتوهج ، فإنه يتحول إلى أول أكسيد الكربون ، ليزيد من القوة الاختزالية للغازات .



ونظراً لانخفاض قاعدية خبث الافران العالية نسبياً ، والجو المختزل بالمنطقة ، فإن الفوسفور الناتج كله ، يتحد بالمعدن ، ولايحوى الخبث شيئاً منه مطلقاً .

(ج) التفاعلات في منطقة المخروط السفلى :

في هذه المنطقة من الفرن ، والمرتفعة الحرارة ، ونظراً للتغير الذي تم في خواص الشحنة الفيزيكية والكيميائية ، فإن الحديد النقي السابق تكوينه بالمناطق العليا بالفرن ، بامتصاصه

للقليل من الكربون تنخفض درجة انصهاره نتيجة انخفاض درجة نقائه ، ويبدأ في السيولة . وكذا غالبية المشحونات الأخرى (خلافاً للكوك والجير) ، وعليه بتهياً المحيط بالمنطقة لتفاعلات من نوع آخر بين مواد صلبة وأخرى سائلة ، بمعنى أن عمل الغازات ، لم يعد المؤثر الفعال المسيطر ، ومن ثم تختزل السيليكا بأكاسيد الحديد والمنجنيز حسب المعادلات :



وثابت الاتزان للتفاعل الأول ، أقل بكثير من ثابت اتزان التفاعل الثاني ، ولذا كان المنجنيز يختزلاً أقوى للسيليكا من الحديد . وهذا التفاعل ماص للحرارة ، ولذا فلإنتاج سبائك الفيرو سيليكون ، تزداد نسبة المنجنيز في شحنة الأفران الأصلية مع زيادة درجة الحرارة بدرجة الصهر بالفرن . كما يتضح مما تقدم ، أنه كلما زادت نسبة السيليكون في الحديد الزهر كلما انخفضت نسبة المنجنيز فيه .

ووجود الفحم في هذه المنطقة متوهجاً ، وبتلامسه مع الشحنة المنصهرة نسبياً والهابطة من الاسطوانة ، يبدأ في اختزال ما تحويه هذه من أكسيد الحديدوز الذي لم ينته اختزاله من قبل ، وكذا في اختزال بعض الأكاسيد المرافقة والصعبة الاختزال ومع زيادة درجة الحرارة ، يزداد هذا النوع من الاختزال والذي يسمى اختزالاً مباشراً . ذلك لأن التفاعلات للاختزال المباشر ، تفاعلات ماصة للحرارة ، بمعنى زيادة شدتها وسرعتها مع ارتفاع درجة الحرارة . وتتم هذه التفاعلات جميعها في درجات الحرارة ما بين ١٠٠٠ إلى ١٧٠٠ م° وأهم هذه التفاعلات هي :



ومن أهم هذه التفاعلات التي تتم عامة بالفرن العالي ، تفاعل كرينة المعدن والذي يتم بهذه المنطقة من الفرن ، حيث يتفاعل الحديد النقي تقريباً الذي تم اختزاله في طبقات الفرن التي تعلو هذه المنطقة ، مع غاز أول أكسيد الكربون ، ومع كربون الكوك المتوهج ، ليذيب (٣ ك ب) حسب التفاعل :

٣ حديد نقي + اول اكسيد الكربون ——— كريد حديد + ثانى أكسيد الكربون

٣ ح + ٢ ك ١ ——— ح ٢ ك + ك ٢

٣ حديد نقي + كربون ——— كريد حديد

٣ ح + ك ——— ح ٢ ك

وهذا تنخفض درجة الحرارة التى يبدأ عندها انصهار الحديد من ١٥٢٨° م ، وهو نقي حتى ١٢٠٠° إلى ١٣٠٠° م .

وفى خلال نزول قطرات الكريد ، فإنها تذيب السيليكون ، والمنجنيز ، والفوسفور ، والكبريت التى تم الحصول عليها من الاختزال المباشر لأكاسيدها - كما ذكر من قبل - فيتحول الحديد الكربونى إلى حديد زهر ، له درجة انصهار أقل ، وبالتالي تنساب قطرات الحديد الزهر السائل ، من أعلى مستوى فتحات نفخ الهواء إلى بودقة الصهر .
ومما ذكر آنفاً ، يتضح أن كربون الكوك المضاف بالشحنة ، يؤدى بالفرن العالى لثلاث وظائف رئيسية :

١ - توليد الطاقة الحرارية اللازمة للتفاعلات عن طريق احتراقه بأكسجين الهواء اللافح .

٢ - كرينة الحديد النقي ، وبالتالي خفض درجة حرارة انصهاره ، وإتاحة الفرصة لإسالته .

٣ - اختزال الأكاسيد مباشراً ، وتوليد أول أكسيد الكربون اللازم للاختزال غير المباشر .

تكون الخبث فى الأفران العالية :

تنساب باقى مكونات شوائب الخامات المشحونة ، التى تتكون فى العادة من أكاسيد هذه الشوائب ، والتى تتمتع بشراهة كبيرة للارتباط بالأوكسجين ، بحيث تحتاج إلى طاقة حرارية عالية لاختزالها ، (يحتاج الحصول على ١ كجم من السيليكون باختزال السيليكا إلى ٧٤٣٢ كيلو كالورى) ، لا تتوفر تحت ظروف تشغيل الأفران العالية . ولكن ولحسن الحظ ، تتفاعل هذه الشوائب مع بعضها بعضاً فى حالة الصلابة أو اللزوجة ، مكونة مركبات كيميائية جديدة ، لها درجة انصهار أقل بكثير من درجة انصهار مكوناتها الأصلية . ويبدأ هذا التفاعل فى درجة حرارة ١٢٠٠° م تقريباً ، أى بمنطقة المخروط السفلى ، ومع تعرض الناتج لدرجات الحرارة الأعلى ، ينصهر ويولد ما يسمى بالخبث . وهذه الأكاسيد

توجد في المشحونات كما يلي :-

في الخام : السيليكا ، والألومينا ، والماغنيسيا ، والجير ، وأكسيد التيتانيوم ، وكبريتيد وأكاسيد المنجنيز ، وأكسيد الزنك وأكسيد الرصاص .

وفي الإضافات : أكسيد الكالسيوم ، وأكسيد المغنيسيوم ، وخامس أكسيد الفوسفور ، والسيليكا .

ومن الكوك : رماد الكوك (الذي يحوى ٤٠% منه على هيئة سيليكا) ، والكبريت .

وأهم المركبات الكيميائية التى تتكون من ارتباط هذه الأكاسيد هى :

١ - السيليكات : التى تتكون من ارتباط السيليكا بالأكاسيد الأخرى مثل :

سيليكات الجير (كا اس ٢) (كا اس ٢) ، وسيليكات الحديد (ح ا . س

٢) ، وسيليكات الألمنيوم (لو ٢ اس ٣ . س ا ٢)

٢ - الألومنيات : وهى عبارة عن ارتباط الألومينا بغيرها من الأكاسيد مثل :

ألومنيات الكالسيوم (كا ا . مغ ا) أو ألومنيات الماغنيسيوم (مغ ا . نق ٢ ا ٢)

٣ - مجموعات الفيرت :

تتكون من ارتباط أكاسيد الحديد بأكاسيد قاعدية ، مثل فيريت الكالسيوم ،

(ح ٢ ا ٢ . كا ٢ ا) أو من أكسيد الحديدوز مع أكسيد السيليكون كالفاليت (ح ا . س

٢ ا)

ويلاحظ أن درجات حرارة انصهار الأكاسيد التى تم ذكرها من قبل عالية جداً ، كما

يظهر ذلك فيما يلى :

الأكسيد	درجة انصهاره
سيليكات (س ا ٢)	١٧١٠°
الجير (كا ا)	٢٦٧٠°
الألومينا (لو ٢ ا ٢)	٢٠٥٠°
ماغنيسيا (مغ ا)	٢٨٠٠°

ولكنها في حالة ارتباطها نتيجة تفاعلها تفاعلاً كيميائياً وتحويلها إلى سيليكات أو

ألومنيات ، تكون درجة انصهار هذه الفتحات منخفضة جداً عن تلك التى للأكاسيد

الأصلية ، وتتراوح درجات انصهارها عادة ما بين ١٢٠٠° و ١٤٠٠° م . وعليه نحسب

مكونات الخبث الأساسية في شحنة الفرن الأصلية ، بحيث يكفى الجير والسيليكا لتكون

خبث محدد التركيب ، يمكن الحصول عليه سائلا تحت ظروف تشغيل الأفران العالية ودرجات الحرارة التي يمكن الوصول إليها . مع زيادة طفيفة في الشق القاعدي ، للتخلص من قدر من الكبريت .

و نورد فيما يلي بعض هذه المركبات الكيميائية ودرجة انصهارها :
(١) مجموعة السيليكا - الجير :

نسبة السيليكا في المركب

أقل درجة انصهار لمركباتها ١٤٣٦°م ٦٥%

أعلى درجة انصهار لمركباتها ١٥٤٤°م ٤٠%

(ب) السيليكا - أكسيد الحديدوز :

أقل درجة انصهار لمركباتها ١١٧٠°م ٤٠%

أعلى درجة انصهار لمركباتها ١٢٠٥°م ٢٠%

(ج) السيليكا - الألومينا :

نسبة الألومينا في المركب

أقل درجة حرارة انصهار لمركباتها ١٥٤٠°م ٨٧%

(د) الألومينا - الجير :

نسبة الألومينا

أقل درجة حرارة انصهار لمركباتها ١٣٩٥°م ٥٥%

أعلى درجة حرارة انصهار لمركباتها ١٤٥٨°م ٤٥%

وفي العادة ، ينضم إلى هذه المجموعات الثنائية أكسيد آخر ، فتنتج مجموعة ثلاثية التكوين ، ويسبب ذلك انخفاضا آخر لدرجة حرارة الانصهار ، بمقدار يتراوح ما بين ٢٣٠°م و ٣٠٠°م .

وخبث الأفران العالية عادة من المجموعة الثلاثية ، فثلا نجد سيليكات الكالسيوم والألومنيوم ، والتي تنخفض درجة حرارة انصهارها بمقدار ماتحتويه من شوائب أخرى .

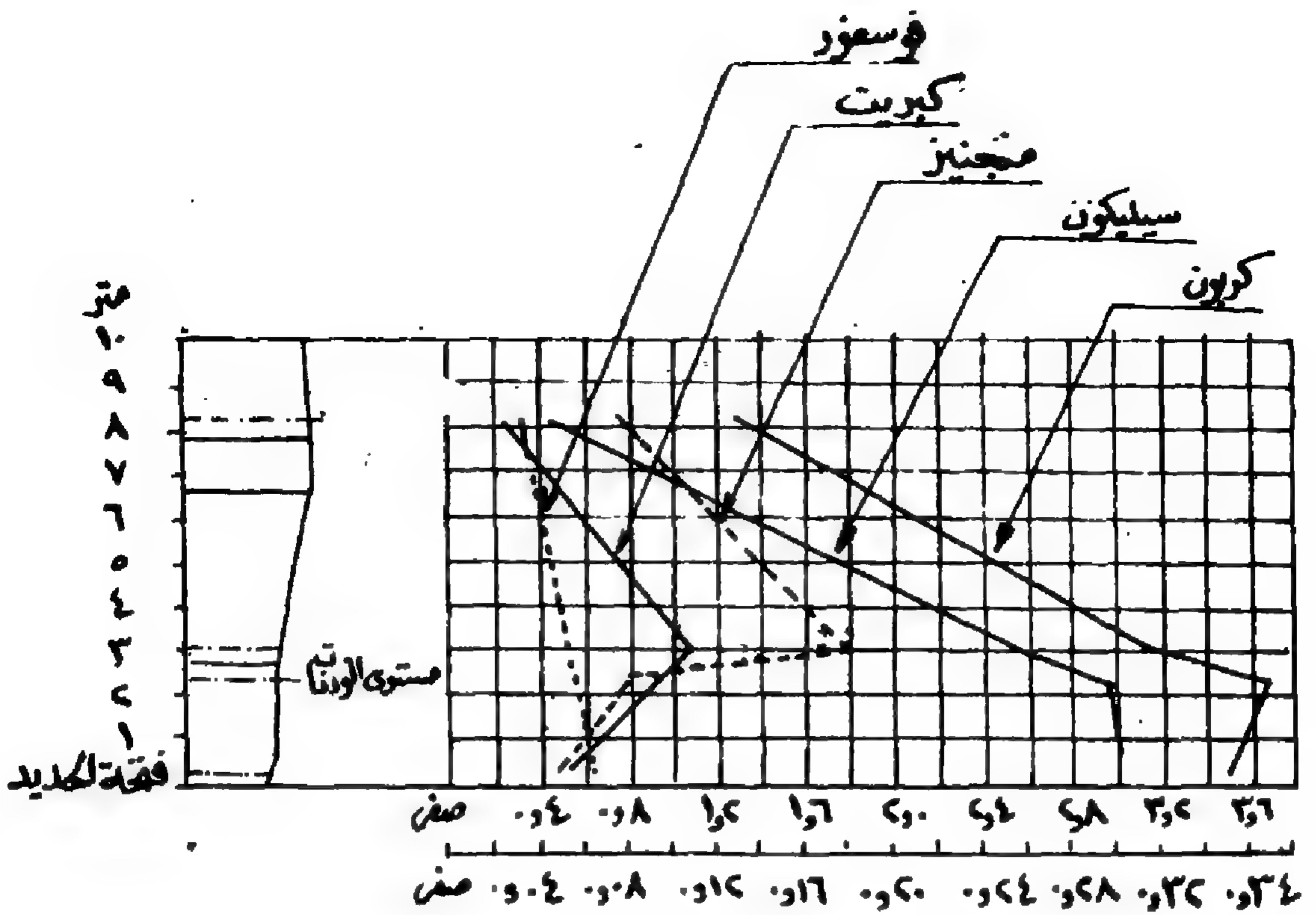
[كا ١ . لو ٢ . م ٣ (٢ س ١)] [٢ (كا ١) . لو ٢ . م ٣ (س ١)] ... وهكذا والتي تنخفض درجة حرارة انصهارها بمقدار ما تحتوية من شوائب أخرى كأكسيد الماغنيسيوم ،

أو أكسيد الحديدوز أو أكاسيد المعادن الأخرى التي لم تختزل ، وقد تصل إلى ١١٦٥ ° م .
والخبث الذي تم تكوينه في الأسطوانة ثم المخروط ، يسمى «الخبث المبدئي أو الأدنى» ،
ويحوى نسباً كبيرة من أكسيد الحديدوز ، وأكسيد المنجنيز ، حيث أن اختزال الأول لم يكن
قد انتهى بعد ، وأن اختزال الثاني إنما يتم في بودقة الصهر . وقد يكونان على هيئة سيليكات
أو أحراراً دون ارتباط .

وباستمرار هبوط هذا الخبث المبدئي في مستوى تحت مستوى فتحات ، نفخ الهواء ،
يضم إليه رماد الكوك . ويجمع كذلك الكبريت وباقي الجير من الشحنة ويفقد قليلاً من
أكاسيد الحديد والمنجنيز ، ليعطى «الخبث النهائي» . وهو الخبث الذي نحصل عليه مع فتح
فتحة الخبث أو مع صببات الحديد . وتكون السيليكات والجير والماغنيسيوم والألومينا حوالى
٩٤ ٪ من إجمالى وزنه ، بينما الباقي يمثل نسبياً من أكسيد الحديدوز ، وكبريتيد الكالسيوم
والماغنيسيوم وأكسيد المنجنيز وآثاراً لخامس أكسيد الفوسفور . وحسب ما يحويه هذا الخبث
من مكونات قاعدية ومكونات حامضية ، يكتسب خاصية تسميته « بالخبث القاعدى أو
الحامضى » . ويمتاز المخلخ الحامضى بمدى حرارى واسع ، يكون فيه الخبث سائلاً ، بينما يضيق
هذا المدى الحرارى بالنسبة للخبث القاعدى ، الذى يحتاج إلى درجة حرارة أعلى
للاحتفاظ به سائلاً .

(د) التفاعلات في بودقة الصهر :

تبلغ درجة الحرارة في المنطقة أمام فتحات نفخ الهواء أعلى درجة حرارة بالفرن العالى
(١٨٠٠ ° إلى ٢٠٠٠ ° م) ، ويتساقط الحديد والخبث السائلان في المنطقة ، واللذان ترتفع
درجة حرارتهما ليتجمعا في بودقة الصهر ، حيث يعلو الخبث الحديد ، نظراً لانخفاض وزنه
النوعى وتأكسد بعض المعدن أمام الودنات من أوكسيجين الهواء اللافح ، ولكنه يختزل بعد
ذلك بكاربون المعدن عن طريق الانتشار . ويلاحظ أن نسب المنجنيز والكبريت في المعدن ،
تزداد خلال هبوطه من الأسطوانة إلى المخروط السفلى ، وحتى مستوى فتحات نفخ الهواء ،
حيث تبدأ بعد ذلك في الانخفاض ، الشكل (٣٦) ، أما السيليكون فتتوقف نسبته في
المعدن عند حد نسبته فيه عند مستوى الودنات ، أما الفوسفور فيستمر في الزيادة ، بينما أن
الكربون ترتفع نسبته بالتدرج ، مع الهبوط من الأسطوانة إلى المخروط السفلى ، ثم ارتفاعاً
مباشراً أمام الودنات ليعود فينخفض نسبياً . وعليه يوجد الحديد حاوياً شوائب من
السيليكون والكبريت والفوسفور والمنجنيز والكربون ، ذائبة أو مختلطة به ، مكونا الحديد



النسبة المئوية للأكسجين والفلور والمانجنيز والسيليكون

النسبة المئوية للكبريت

شكل رقم ٣٦ يحدد تحليل الحديد الزهر عند المستويات المختلفة
أعلى المستويات ويحق في نسبة الحديد

الزهر، بينما يحوى الخبث كل الباقي الصلب من الشحنة الأصلية .
عائد الحديد الزهر وعائد الخبث :

والمقصود بعائد الحديد الزهر إجمالى كميات الحديد والمنجنيز والسيليكون والكربون والفوسفور والكبريت والزنك والقصدير، الخ . الموجودة بالمعدن الناتج بالنسبة إلى مجموعها فى الخامات المشحونة .

أما عائد الخبث، فيمثل الفرق بين المشحونات الداخلة للفرن عامة، وتلك المواد الداخلة فى تركيب الحديد الزهر وغاز الأفران العالية المنتجة .

ونسعرض فيما يلى عائد كل عنصر، وهو يمثل مقدار ما يحويه المعدن المنتج بالأفران العالية، وما يحويه الخبث من هذا العنصر :

١ - الحديد : يبلغ عائد الحديد تقريباً من ٩٥ إلى ١٠٠٪ ويرجع ذلك الى الجو المختزل الذى تتم فيه عمليات الأفران .

٢ - المنجنيز : يتراوح عائده بين ٥٠٪ إلى ٧٠٪ بالحديد الزهر، والباقي يخرج مع الخبث على هيئة أكسيد المنجنيز أو مركبات المنجنيز والكبريت . ويتوقف هذا القدر على قاعدية الخبث ودرجة الحرارة فيزداد كلما انخفضت درجة الحرارة وانخفضت القاعدية .

٣ - الفوسفور : يحوى المعدن تقريباً ٩٥٪ من كمية الفوسفور المشحون بالفرن ، ويخرج الباقي على هيئة مركبات كيميائية مع الكالسيوم والسيليكا فى الخبث .

٤ - السيليكون : من ٢ إلى ٣٪ تتحد بالمعدن ، بينما يخرج الباقي مع الخبث . وتعتمد الكمية الداخلة فى المعدن على كمية السيليكا فى الشحنة الأصلية وقاعدية الخبث ، ودرجة حرارة بودقة الصهر، حيث تزيد مع انخفاض قاعدية الخبث ، وارتفاع درجة حرارة البودقة .

٥ - الكبريت : يوجد جزء منه بالمعدن ، والجزء الآخر بالخبث ، ويتطاير جزء منه مع غازات الأفران العالية . ويتوقف الجزء الذى يوجد بالمعدن على قاعدية الخبث ، ودرجة حرارة بودقة الصهر ونسبة الماغنيسيا فى الخبث . فيقل كلما زادت مقادير هذه الدلالات . ويمكن الحصول على معدن يحوى أقل من ١٠٪ من كمية الكبريت الداخلة مع المشحونات .

٦ - النحاس والنيكل والزنك : تذوب بأكملها فى المعدن .

٧ - الرصاص : يدخل المعدن ، غير أنه لا يذوب فيه ، ويتجمع في أسفله لثقله . ويسبب أضراراً كبيرة للطوب الحراري ويمكن جمعه خلال ثقب في الطوب (تم ذلك في بلدان أوروبا) وقد يتأكسد جزء بسيط منه إلى (ر ٢١) ويخرج مع أتربة الغازات .

٨ - الفاناديوم : من ٧٠ إلى ٨٥٪ يدخل المعدن ، والباقي يخرج مع الخبث .

٩ - الكروم : ١٠٠٪ يدخل المعدن على هيئة كبريد الكروم .

١٠ - تيتانيوم : من صفر إلى ١٠٪ بالمعدن ، وأثر وجوده بالخبث سيء .

١١ - الخارصين : من ٧٠ إلى ٩٥٪ بالمعدن .

١٢ - الكربون : يذوب الكربون في معدن الحديد ، وحتى نسبة ٧٪ بالوزن ، وتساعد بعض الشوائب الموجودة مع المعدن كالمنجنيز والكروم ، علم إذابة كربون الكوك ، بينما تقف بعض العناصر الأخرى ضد ذلك مثل الفوسفور والسيليكون . ويوجد الكربون بالمعدن على هيئة كبريد الحديد ، وأحياناً بنسب أقل على هيئة جرافيت دقيق .

وتتأثر خواص الحديد المنتج عامة ، ودرجة حرارة انصهاره خاصة تبعاً لنوعية الشوائب الموجودة معه ، ونسبتها فنلأ :

كل ١٪ كربون ذائب في المعدن ، يخفض درجة انصهار المعدن . . .	٧٠° م
كل ١٪ فوسفور ذائب في المعدن ، يخفض درجة انصهار المعدن . . .	٣٠° م
كل ١٪ كبريت ذائب في المعدن ، يخفض درجة انصهار المعدن . . .	٢٥° م
كل ١٪ سيليكون ذائب في المعدن ، يخفض درجة انصهار المعدن . . .	٨° م
كل ١٪ منجنيز ذائب في المعدن ، يخفض درجة انصهار المعدن . . .	٥° م

٢ - التفاعلات والتغيرات التي تلازم عامود الغازات الصاعدة :

يدخل الهواء اللافح ، (٢١٪ أوكسجين ، ٧٩٪ نيتروجين) ، الفرن خلال فتحات الهواء (الودنات) في درجة حرارة تتراوح ما بين ٧٠٠° إلى ٩٠٠° م ، (حالياً وصلت حتى ١٢٠٠° م في اليابان والاتحاد السوفيتي) ، ليجد أمامه في المنطقة العليا لبوذة الصهر كوكا متوهجاً . فيحترق كربون الكوك مباشرة بأوكسيجين هذا الهواء اللافح . وحيث أن الأوكسيجين يوجد عند المدخل بكميات كبيرة ، فيتم احتراق الكربون احتراقاً كاملاً حسب المعادلة :

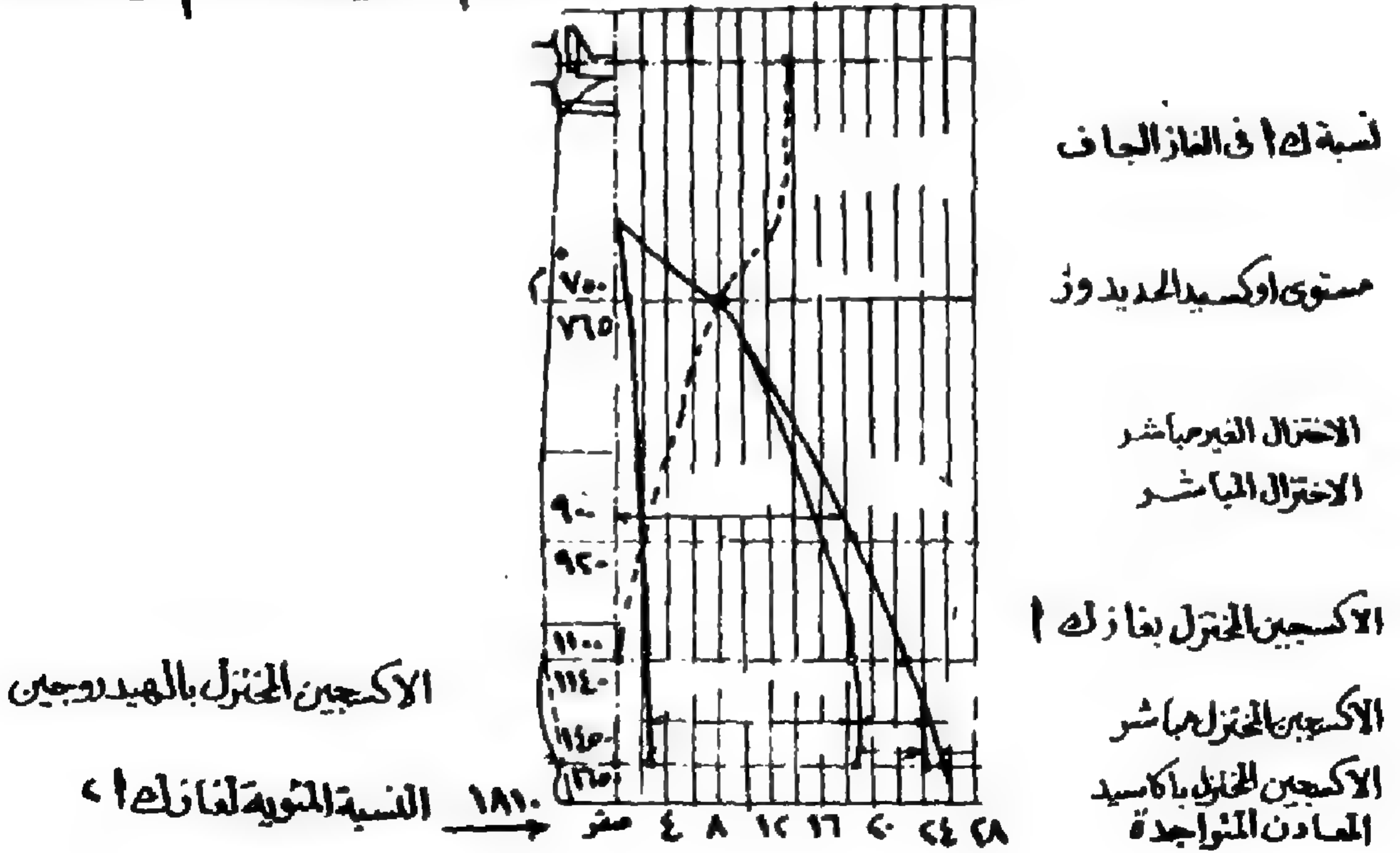
كربون + أوكسيجين — غاز ثاني أكسيد الكربون

ك + ا — ك ا

مولداً لطاقة حرارية كبيرة . ترفع درجة حرارة المنطقة حتى ١٧٠٠ م إلى ٢٠٠٠ م . وتسمى المنطقة أمام فتحات الهواء والتي يحدث فيها ذلك « منطقة الاحتراق » . وتأخذ شكل مجسم القطاع الناقص . وتمتد حتى مسافة كبيرة إلى داخل الفرن . تتوقف على قطر ودنات نفخ الهواء (الشكل ٢٧) . وضغط هواء النفخ . ودرجة حرارته . وعوامل أخرى نذكرها فيما بعد .

وحيث أن ثاني أكسيد الكربون - حسب قانون بودوارد ، غير ثابت في درجات الحرارة العالية وفي وجود الكربون المتوهج . فإن الغاز الناتج يتفاعل مع كربون الكوك . مولداً حجمين من غاز أول أكسيد الكربون . مقابل كل حجم من غاز ثاني أكسيد الكربون . حسب العلاقة التالية :

٢٨ ٢٤ ٢٠ ١٦ ١٢ ٨ ٤ مفرج - جم أكسجين مختزل / كجم من الحديد الزهر



شكل رقم ٢٧ - يحدد بعض العلاقات الخاصة بعملية الاختزال « عن شيرج »

حجم من غاز ثانى أكسيد الكربون + كربون ——— حجمين من أول أكسيد الكربون
ك ١ + ك ٢ ——— ك ٢ ك ١ (ماص للحرارة)

ويتم التفاعل السابق سريعاً ، وفي حدود جزء من الثانية .
كما يتم في نفس الوقت تحلل بخار الماء الداخل مع الهواء اللافح بلامسته للكربون المتوهج حسب مايلي :

بخار الماء + الكربون ——— غاز هيدروجين + غاز أول أكسيد الكربون
ن ١ + ن ٢ ——— ن ٢ ك ١ (ماص للحرارة)

ويساعد ارتفاع درجة حرارة المنطقة في توفير الطاقة الحرارية اللازمة لهذا التفاعل عليه يتولد أمام الودنات خليط من غازات مختلفة يسمى « غاز الودنات » - تحليله كالآتي :

(معتمداً على نسبة بخار الماء الموجود بالهواء اللافح) .

أول أكسيد الكربون ٣٥ إلى ٤٠ %

هيدروجين ٢ %

نتروجين ٥٨ إلى ٦٣ %

ويتصاعد هذا الغاز داخل الفرن ، ليقابل في درجات الحرارة العالية عامود الشحنات الهابط ، وليحيط بقطع الخام ، ويعطيها جزءاً من الحرارة الكامنة به ، ويتخلل مسامها ليتحد أول أكسيد الكربون والهيدروجين بأوكسجين أكاسيد المعدن التي لم يتم اختزالها بعد ، نتيجة المعدن ، ويحوّله إلى غاز ثانى أكسيد الكربون وبخار الماء ، حسب مايلي :

أكسيد الحديدوز + أول أكسيد الكربون ——— الحديد + غاز ثانى أكسيد الكربون

ح ١ + ك ١ ——— ح ٢ ك ٢

أكسيد الحديدوز + غاز الهيدروجين ——— الحديد + بخار الماء

ح ١ + ن ٢ ——— ح ٢ ن ٢

وفي هذا المستوى الحرارى داخل الفرن ، يمكن لغاز أول أكسيد الكربون والهيدروجين اختزال بعض الأكاسيد صعبة الاختزال المرافقة ، ولكن بنسب محدودة وقليلة .

وهذه التفاعلات ، تسبب الارتفاع في نسبة غاز أول أكسيد الكربون في الغاز الصاعد ، الذى يتفاعل مباشرة مع كربون الكوك المتوهج متحوّلاً إلى غاز أول أكسيد الكربون مرة أخرى ، وبالتالي تزداد القدرة الاختزالية للغاز ويتم اختزال المزيد من الأكاسيد .

وباستمرار صعود الغازات وملامستها للشحنات الهابطة ، وفقدانها للحرارة ، تنخفض

درجة حرارتها ، وتقل نسبة ثانى أكسيد الكربون التى تتحول الى أول أكسيد الكربون ، وكذلك ينشط التفاعل :

حجمان من غاز أول أكسيد الكربون ——— حجم غاز ثانى أكسيد الكربون + كربون



منتجاً لغاز ثانى أكسيد الكربون . كما تتحلل الكربونات مولدة كميات إضافية من هذا الغاز ، فترتفع نسبته الإجمالية فى الغازات تبعاً لذلك ، وبالتالي تنخفض قدرة الغاز الاختزالية

ولهذا ، وبالإضافة إلى عدم توافر الجو الحرارى اللازم ، يتوقف اختزال الخسام تقريباً نهائياً عند درجة حرارة ٤٠٠°م . ويتصاعد الغاز ليعطى جزءاً مما تبقى به من حرارة للخدمات ليساعد فى تجهيزها . ويفادر الغاز الفرن فى درجة حرارة تتراوح ما بين ١٥٠ و ٢٥٠°م ، يتكوينه المعروف كالاتى :

أول أكسيد الكربون به ٢٨ إلى ٣٠%

ثانى أكسيد الكربون به ١٠ إلى ١٢%

هيدروجين ١٥ إلى ٢ %

نيتروجين = الباقي ٥٦ إلى ٦٠%

محملاً بالأتربة الناعمة من المشحونات إلى وحدات تنقية الغاز ، ثم إلى أماكن الاستهلاك .

ويلاحظ فيما سبق ذكره أن غاز النيتروجين الداخلى مع الهواء اللائح ، لا يشارك فى التفاعلات بقدر ملحوظ ، غير أنه يلعب دوراً هاماً فى تجهيز الشحنة الهابطة ، وذلك بالتخلي عن الحرارة الكامنة به ، وهو دور فى الواقع له أهميته فى الاتزان الحرارى للفرن . غير أن جزءاً صغيراً من الغاز ، يتحد مع كربون الكوك مكوناً غاز السيانوجين حسب الآتى :

كربون + غاز نيتروجين ——— غاز السيانوجين



أو يتفاعل مع الهيدروجين مكوناً غاز النوشادر (الأمونيا) حسب التالى :

غاز نيتروجين + هيدروجين ——— غاز النوشادر



الباب السابع

« تشغيل الفرن العالى »

فى هذا الباب ، نعرض للعمليات التى تجرى بالأفران العالية ، التى تعتبر أساس تكنولوجيا التشغيل ، فى محاولة لتجميع أكبر قدر من خبرات العاملين بالأفران العالية ، ولنتائج تجاربهم فى بلدان العالم المختلفة ، التى تطورت بمرور الوقت ، وتقدم الصناعة ، والمنافسة البناءة فى هذا المجال .

ومهما اختلفت طرق التشغيل باختلاف الخبرات أو المكان ، إلا أنها جميعها تتفق فى الهدف ، وهو التشغيل بصورة مضمونة بعيدة عن الأخطار ، تكفل الرقابة التامة على التشغيل ، والضمان لتحقيق الإنتاج المنشود .

وسرد فيما يلى هذه العمليات ، منذ بدء تشغيل الفرن ، وخلال فترة عمله ، وحتى توقفه لإعادة تبطينه أو لإجراء ما يسمى « العمرة التامة » . وهذه الفترة الزمنية ، يطلق عليها « رحلة الفرن العالى » .

١ - إشغال الفرن :

بعد إتمام مراحل تشييد الفرن ، وتبطينه ، وتركيب الودنات ، وأجهزة السحن ، الخ وإجراء تجارب الاختبار للمعدات ، يصبح الفرن معداً للتشغيل ، وتتخذ خطوات الإعداد لإشغاله . وتعتبر عملية تخفيف مباني الفرن من أهم مراحل الإعداد هذه .

ويتم تخفيف مباني الفرن بطرق عديدة ، يختلف تبعاً للخبرة الخاصة وللظروف المحلية . ومن هذه الطرق ، استخدام الحرارة المتولدة من احتراق المازوت أو غاز الأفران العالية أو غاز الكوك ، باستخدام مواقد تركيب بصفة مؤقتة بفتحات نفخ الهواء أو بفتحات الخبث والحديد . وحديثاً يتم تخفيف مباني الفرن باستعمال الهواء اللافح بكمية محدودة ، عن طريق المسخنات ، يبدأ بها فى درجة حرارة منخفضة نسبياً « ٢٠٠ إلى ٣٠٠ درجة مئوية » ، تزداد تدريجاً وعلى فترات حتى تصل حتى ٨٠٠ إلى ٩٠٠°م . وتستمر هذه الفترة من يومين إلى ثلاثة أيام حسب حجم الفرن ، وحتى تصل درجة حرارة مباني الفرن فى الطبقات العليا إلى درجة يضمن معها جفافها ، وتخضع لمراقبة دقيقة .

والتدرج في التسخين ضروري ، حتى لا تتعرض المناطق لارتفاع مفاجيء في درجة حرارتها ، مما يترتب عنه الإضرار بالمباني . وكذا لتعاشي خروج كميات كبيرة من البخار من الطبقات السفلى ، وإضرارها بمباني أعلى الفرن ، حيث درجة الحرارة لا تزال منخفضة . ولهذا اتبع في الماضي نظام تجفيف كل طبقة بعد الانتهاء من بنائها ، وقبل البدء في بناء الطبقة التي بعدها . وطريقة التجفيف باستخدام الهواء اللافع تجتذب الاهتمام ، حيث أنها تضمن تجفيف الطوب الحراري المبطن لمواسير الهواء من المسخنات وحتى الفرن . وهي الطريقة التي استخدمت في أفران مصانع الحديد والصلب بجمهورية مصر العربية .

عند الانتهاء من عملية التجفيف ، يترك الفرن ليبرد مرة أخرى ، ويجرى ذلك بخفض درجة حرارة الهواء المستخدم تدريجياً ، ثم يستبدل به هواء في درجة الحرارة العادية عقب وصول درجة حرارة المباني لدرجة منخفضة نسبياً ٥٠ إلى ١٠٠°م .

وعند انخفاض درجة الحرارة داخل الفرن ، إلى الدرجة التي يتمكن معها العاملون من الدخول من خلال فتحات الهواء ، يبدأ في شحن الفرن بشحنة خاصة ، الشكل (٣٨) ، تسمى شحنة الاشعال ، ويتم خطواتها كالآتي :

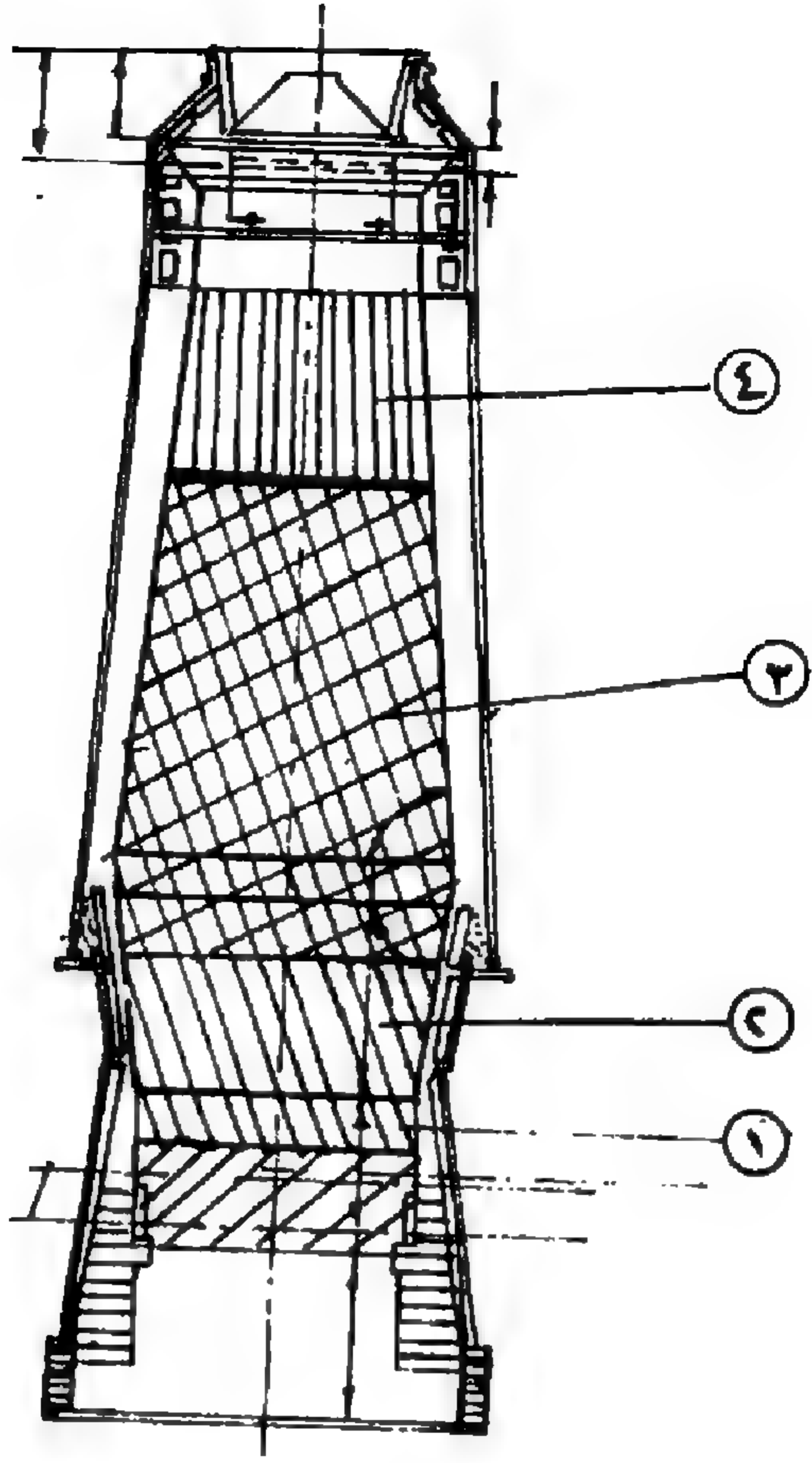
١ - تملأ بودقة الصهر بقطع من الخشب الصغير الجاف المتناسك ، الذي تعلوه قطع أكبر مثل فلنكات السكك الحديدية . وتصنف هذه في طبقات متتالية متعامدة المحور ، يعلو بعضها بعضاً ، ويملأ الفراغ الموجود بينها بقطع صغيرة من خشب سهل الاشتعال ، وخرق مبللة بالزيوت والشحوم ، وأحياناً يرش الخشب بالمازوت أو الكيروسين للمساعدة في سرعة اشتعاله .

٢ - يتم تركيب جلب النفخ ، ويتم توصيلها بمياه التبريد .

٣ - تشحن من أعلى الفرن - عن طريق دورة الشحن العادية - كمية من الكوك ذى الأحجام الكبيرة ، ليتخلل جزء منه ، فراغ الخشب الموجود في بودقة الصهر ، ثم يعلوه إلى ارتفاع من ١,٥ إلى ٢,٥ متر تقريباً ، تبعاً لحجم الفرن .

٤ - يبدأ بعد ذلك في شحن شحنات من الكوك فقط ، تتبعها أخرى من الكوك مع إضافات من الحجر الجيري ، معها ١٠٪ من جليخ الأفران العالية ، حتى يصل مستوى المشحونات منتصف الفرن تقريباً .

٥ - يبدأ بعد ذلك في شحن الخام ، بالإضافة إلى الكوك والحجر الجيري ، وتحسب القاعدية بحيث لا تتعدى ٠,٧٪ عند البداية ، وتأخذ في الارتفاع التدريجي ، مع استمرار



الشكل ٣٨ - كروكي شحنة اشعال الفرن

- ١ - منطقة الحطب
- ٢ - منطقة الكوك
- ٣ - منطقة شحنة الحفصة
- ٤ - منطقة شحنة بقاعية متفحفة

الشحن لتصل إلى ١.٠٠ عند نهاية شحن وملء بقية الحجم الفعال بالفرن وتسمى « شحنة الإشعال الخفيفة » .

٦ - تنخفض كمية الكوك الزائد عن احتياج الشحنة ، مع الاستمرار في الشحن لتصل إلى الكمية الأصلية اللازمة قرب نهاية عملية الشحن .

٧ - يمنع نهائياً إضافة أى مشحونات من الزهر أو الخردة أو خلافه من المشحونات الحديدية .

٨ - يتم تشغيل دورة تبريد الفرن « للودنات ، وصناديق التبريد ، وأدشاش التبريد ، وللمجمعات . إلخ .

بالانتهاء من الخطوات السابقة يصبح الفرن معداً للاشتعال . وكثيراً ما يتم ذلك عن طريق فتحة الحديد ، حيث توضع خرق مبللة بالكبروسين أو البنزين مع قش الخشب ، لتكون السبيل إلى إشعال شحنة الخشب الموجودة ببودة الصهر . ويجرى في نفس اللحظة كذلك الإشعال عن طريق فتحات نفخ الهواء . وعند التأكد من بدء اشتعال الخشب ببودة الصهر ، يبدأ في نفخ كمية صغيرة من الهواء اللافح (حوالى ٢٠٪ من الكمية الأصلية) ، بحذر شديد واحتياط بالغ ، منعاً لحدوث أى انفجار بأعلى الفرن أو أمام الودنات . وقد يتم الإشعال بنفخ الهواء اللافح مباشرة خلال فتحات الهواء فقط ، فتشتعل المشحونات أمامها . وفي خلال ذلك ، تترك فتحة الحديد مفتوحة ليخرج منها اللهب ، وكذا الهواية أعلى الفرن . ويفصل الفرن - خلال عملية إشعاله - نهائياً عن شبكة الغازات بالمصنع . كما تراقب درجة الحرارة للغاز أعلى الفرن خلال هذه الفترة بمتى الدقة ، حتى لا يتسبب ارتفاعها في اشتعال الغاز ، والإضرار بتجهيزات قة الفرن أو تجهيزات الشحن . ومع استمرار التشغيل ، تراقب حالة الفرن ، وتحاليل الغاز ، وحركة المحبسات ، إلخ . من خلال قراءات أجهزة مراقبة الفرن .

ويستمر العمل تبعاً لهذا النظام ، حتى بدء ظهور أول دلائل تكون الخبث بالفرن ، ويعرف ذلك بملاحظة خروجه بكميات ضئيلة من فتحة الحديد ، وعندئذ تغلق هذه الفتحة بواسطة ماكينة غلق الفرن ، بكمية محدودة من الطينة المستخدمة لهذا الغرض . وفي العادة ، تبدأ بوادر الخبث في الظهور بعد ١٢ إلى ١٥ ساعة من بدء التشغيل ، وذلك تبعاً لخواص الشحنة المستخدمة .

وهكذا يستمر العمل بالفرن الذى يحوى فتحة على فترات زمنية قصيرة « كل ساعتين »

ليخرج الخبث الذي تم تكوينه . ومن مظهر الخبث الناتج وخواصه ، يمكن الحكم على حالة الفرن ، وبالتالي مدى احتياجه إلى المزيد من الوقود ، أو الاكتفاء بما تم شحنه . كما يحدد الموقف بالنسبة لباقي المشحونات ، بمعنى تقييم الموقف ، ليتمكن اتخاذ اللازم لسلامة التشغيل . أما بواذر الحديد ، فتبدأ في الظهور بعد ٢٥ إلى ٢٨ ساعة من بدء التشغيل . وفي العادة يحوى الحديد المنتج نسبياً عالية من الكبريت ، والشوائب الأخرى ، التى تجعله غير صالح للاستخدام بأقسام الصلب ، إلى خردة ، يمكن استخدامها بنسبة محدودة في شحن الفرن بعد ذلك .

ومع تتابع الوقت ، تزداد كمية هواء النفخ تدريجاً ، وهكذا حتى تصل إلى الكمية المحددة لها ، ويتبع ذلك زيادة كمية الخبث والحديد المنتجة . وتطول الفترات بين الصبات حتى تصل إلى الزمن الطبيعى لها . وبذا يبدأ الفرن مرحلة تشغيله ، التى تتراوح ما بين أربع وسبع سنوات ، رغم أن بعض الأفران قد تعدى هذا الرقم ، مثل الفرن الثانى بالحديد والصلب بحلوان ، والذي عمل منذ ١٩٦٠ حتى ١٩٧٢ ، أى حوالى إثني عشر عاماً بنفس البطانة ، ويعتبر ذلك رقماً قياسياً في الواقع لهذا الحجم من الأفران .

وعقب الصبات الأولى من المعدن والخبث ، ومع ظهور بواذر انتظام العمل بالفرن ، يبدأ في أخذ عينات من الغاز أعلى الفرن لتحديد تحالیه ، وعندما تنتظم وتخلو نهائياً من الأوكسجين ، وتصل نسبة الهيدروجين إلى النسبة المسموح بوجودها بالغاز ، يبدأ في إدخال الفرن في شبكة الغازات دون أخطار .

ويفضل بعض العاملين بالأفران العالية ، إيقاف الفرن بعد بدء تشغيله بفترة ٤ إلى ٨ ساعات ، وفتح الجرس الأعلى للفرن ، وكذلك فتح فتحات نفخ الهواء ، وبالتالي السماح بحدوث عملية « سحب طبيعى » بالفرن ، تساعد في تنسيق عملية تسخين الطوب الحرارى ، ثم يستأنف النفخ بعد ذلك كالمعتاد .

٢ - شحن الفرن :

تعتبر طريقة الفرن العالى الإنتاج الحديد الزهر ، من طرق الإنتاج المستمر ، ويرجع ذلك إلى طبيعة عملياتها التى تتصف بالاستمرار الذى لا يقبل التجزئة . فالهواء اللافح ينفخ باستمرار ، وغازات الأفران العالية تخرج باستمرار ، وصب الخبث والحديد يودى بانتظام وباستمرار ، وعليه أصبح لازماً تغذية الفرن من أعلاه بالكوك والخام وخلافه بصفة مستمرة . وتسمى عملية تغذية الفرن بالمشحونات هذه بعملية « شحن الفن » .

ولأهمية هذه العملية ، وللدور الهام والأساسي الذي تلعبه في فن تشغيل الأفران ، وأثرها في زيادة طاقاتها الإنتاجية واقتصادياتها ، تلقى هذه العملية كل الاهتمام . فبجانب الدقة في تجهيز وإعداد واختيار الخدمات المستعملة بالفرن العالي ، أمكن عن طريق الهيمنة على عملية الشحن ، سواء بتغيير وزن الشحنة أو ترتيب هبوطها بالفرن ، أو تغيير مستوى الشحن ، أو توزيع الكوك وباقي المشحونات ، الخ ، الحصول على أفضل النتائج في التشغيل ، وتحقيق أعلى إنتاجية ، باستهلاك أقل كمية من الوقود لإنتاج الحديد الزهر ، حسب المواصفات المحددة والمطلوبة .

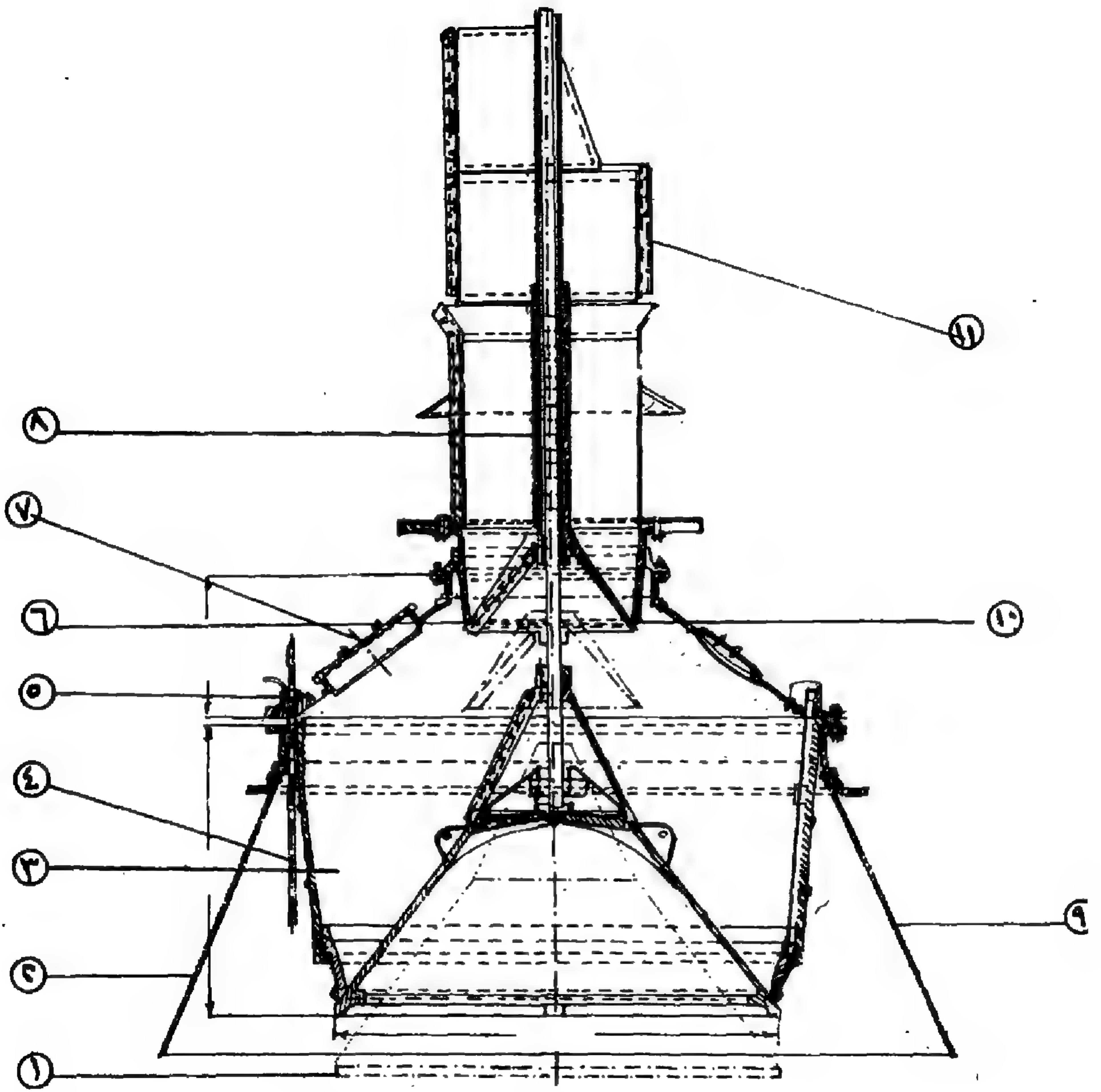
تجرى عمليات شحن الفرن بتوالى وصول وتفريغ عربات شحن الفرن لما بها من كوك أو مشحونات « بقادوس » استقبال الشحنة أعلى الفرن ، الشكل (٣٩) ، حيث تهبط منها إلى « الموزع الدائري » ثم إلى سطح الجرس الصغير ، وعند فتحه تهبط على سطح « الجرس الكبير » وعند فتحه تنزلق لداخل الفرن .

الشكل (٣٩)

ويطلق اسم « شحنة فرن كاملة » على كمية الخامات والكوك المقابل لها المشحونة في كل دورة من هذه الدورات ، والتي تكون في مجموعها عمود الشحنات بالفرن العالي ، والمكون من طبقات متتالية من الكوك والخام المنفصلين في وضوح بأعلى الفرن واللذين يختلطان ويزداد اختلاطهما ، كلما استمر هبوط الشحنة بالفرن .

وعند فتح الجرس الكبير للساح للشحنة التي فوقه بالهبوط إلى داخل الفرن ، تنزلق مكوناتها على سطحه المائل ، لترتطم « بجدار الفرن المسلح » ، ثم تندحرج وتبند عنه ليأخذ شكل سطح الشحنة أعلى الفرن .

وحيث أن مكونات الشحنة تختلف في أحجامها ، لذا تتجمع - في العادة - الأحجام الصغيرة ناحية جدار الفرن ، وتندحرج الأحجام الأكبر إلى مسافات متباعدة نحو منتصفه . ومثل هذا التوزيع ، يؤدي إلى زيادة مسامية الشحنة عن منتصف الفرن ويعنى الإقلال من المقاومة لعمود الغازات الصاعدة ، وبالتالي كمية الغازات عند منتصف الفرن ، والإقلال منها ناحية الجدار . ويقال في هذه الحالة إن الفرن « يعمل من منتصفه » . وفي حالة انعكاس هذه الحالة ، بمعنى صعود الغازات بكثرة ملامسها لجوانب الفرن ، بسبب زيادة مسامية الشحنة الملازمة للجدران عنها في منتصف الفرن يقال إن الفرن « يعمل من جوانبه » . وكلا الحالتين السابقتين غير مرغوب فيها في تشغيل الأفران العالية ، لأن تصاعد



شكل ٣٩ - قمة الفرن ومعدات الشحن أعلاه

الغازات وبكثرة . ملاسماً لجوانب الفرن . يؤدي إلى إتلاف مبردات الطوب الحراري ، وبالتالي تسرب المياه لداخل الفرن ، وما يتبع ذلك من متاعب . بالإضافة إلى ماتسبيه هذه الغازات من أضرار للطوب المبطن للفرن . وكذلك فإن صعود الغازات عند منتصف الفرن ، يؤدي بعد فترة من التشغيل ، إلى تكوين رواسب الفرن العالي ، التي تقلل من كفاءته وتسبب الكثير من متاعب التشغيل . ولهذا كله يسمى العاملون بالأفران العالية دوماً ، إلى تشغيل أفرانهم بما يحقق حسن توزيع الغازات الصاعدة على مقطع الفرن في جميع المستويات .

وقد أمكن - عن طريق تجهيز الأفران الحديثة بموزع الشحنات ، وبأجهزة القياس الدقيقة ، التي تحدد كمية الهواء اللافح الداخلة بكل فتحة من فتحات نفخ الهواء (الودنات) ، بالإضافة إلى استخدام تلك الأجهزة التي تقوم بقياس درجات حرارة الغازات الصاعدة قرب سطح شحنة الفرن وتحليلها - التحكم في توزيع المشحونات والكوك بأعلى الفرن ، بما يحقق عدالة توزيع الغازات الصاعدة على المقطع ، ولتكنل الاستفادة التامة بالحرارة الكامنة بها ، في تجهيز الشحنات الهابطة

وبالإضافة إلى ما ذكر آنفاً فإن لدى العاملين بالأفران ، إمكانيات عديدة للتغلب على أى ذبذبات في تناسق توزيع الغازات الصاعدة ، وبالتالي التحكم فيه والهيمنة عليه . فثلاً :

١ - عند زيادة وزن الشحنة على قدر معين ، تزداد كمية الخام المتدحرج إلى منتصف الفرن ، وبالتالي تتصاعد الغازات ملاسمة لجوانب الفرن ، والعكس بخفض وزن الشحنة ، تتصاعد الغازات ، نتيجة تراكم الخام بجوار جدار الفرن بكثرة عن المنتصف ، وعليه يمكن بالاختيار المبني على التجربة ، تحديد الوزن الأمثل لشحنة كل فرن .

٢ - بزيادة المسافة بين نهاية فتحة الجرس الكبير وسطح الشحنة (مستوى الشحن) عن مقدار معين ، يتراكم الكوك بمنتصف الفرن ، وبالتالي يسهل صعود الغازات من هذه المنطقة ، وبإقلال هذه المسافة يتراكم الخام في منتصف الفرن ، وبالتالي يزداد صعود الغازات ملاسمة لجوانب الفرن ، وعليه يمكن تحديد المسافة المثلى لتحقيق أفضل توزيع للغازات الصاعدة .

٣ - يشحن الكوك والخامات في شحنات متعاقبة بالفرن بعضها منفصل عن الآخر ، أو يمكن تجميع كل شحنة (كوك + ما يقابله من باقى الخامات) أعلى الجرس الكبير ، ثم السماح

لها بالهبوط مرة واحدة . وعليه يتعدد ويتنوع ترتيب هبوط الشحنات داخل الفرن . حسب إتاحة الفرصة لها للهبوط من فوق الجرس الكبير ، فيقال مثلاً : كوك . كوك / خام . خام ، ومعنى ذلك عربة تسحن كوك تفرغ بالقادوس إلى الجرس الصغير ، ثم أعلى الجرس الكبير ، تليها أخرى بنفس الوضع ، ثم يسمح بفتح الجرس الكبير ، ويفلق ثانية ، ليشحن أعلاه حمولة عربتي تسحن من الخامات ، ويفتح الجرس الكبير بعدئذ . أو يقال كوك . كوك . خام . خام . بمعنى أن حمولة عربة للشحن من المواد المحددة حسب ترتيبها ، تمر خلال مراحل الشحن ، لتجمع كلها حسب الترتيب الآنف الذكر ، على الجرس الكبير الذى يفتح بعدئذ . وهنالك العديد من التبادل والتوافق ، فيما يختص بعدد عربات كل خامة وتنظيم هبوطها ، نورد ما يلى كمثال لها :

١ - خام . كوك . كوك / خام . حجر جبرى . كوك . كوك . / .

٢ - خام . خام / حجر جبرى كوك . كوك / .

٣ - خام . حجر جبرى كوك . كوك / خام . خام حجر جبرى .

٤ - كوك . كوك . كوك . / خام . خام . حجر جبرى / .

٥ - خام . كوك . كوك / خام . حجر جبرى . كوك . كوك / .

٦ - خام . كوك . كوك . حجر جبرى / كوك . كوك خام . كوك / .

وباختصار يمكن القول بأن الخبرة العملية والمعرفة الميدانية والتقدم التكنولوجى قد أمدت العاملين بالأفران العالية ، بإمكانيات كبيرة للهيمنة على تسحن الفرن ، وبالتالي معالجة أى صعوبات تتعلق به . بل وجعلت منه مقياساً لرقابة عمل الفرن وانتظامه . فيمكن من خلال مراقبة عدد الشحنات التى يتم تسحنها خلال فترة زمنية محددة ، معرفة حالة الفرن وعملياته ، ومن ثم فإذا انخفض العدد عن المعدل ، مع ثبات باقى مؤثرات التشغيل ، كان ذلك مؤشراً يدل على ارتفاع درجة حرارة الفرن ، واحتمال تعليق الشحنات . وإذا زاد العدد عن المعدل ، دل ذلك على برودة الفرن . وهكذا يمكن التنبؤ بأى عطب أو خلل فى التشغيل قبل وقوعه ، مما يمكن بالتالى من اتخاذ الإجراء اللازم لمعالجته والتغلب عليه .

٣ - الإعداد لصب الفرن - عملية فتح الفرن :

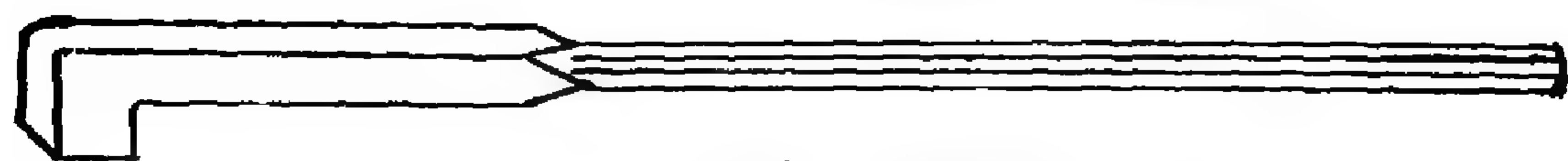
يبدأ الإعداد لصب الفرن فى العادة ، بعد مدة وجيزة من انتهاء الصبة السابقة ، حيث يقوم العاملون بنظافة مخلفات الصبة السابقة ، برفعها من مجارى الحديد والخبث ، ثم بترميم

هذه المجارى ، والاطمئنان على سلامتها ، خاصة المجرى الرئيسية ، ومباني فاصل الحديد والخبث . ويتطلب هذا العمل خبرة خاصة ، وقوة تحمل كبيرة ، نظراً للظروف التى يؤدى فيها . ويتم ترميم مجارى الحديد والمجرى الرئيسية ، بخلطة من الطين الحرارى ، تختلف عن تلك المستخدمة لمجارى الخبث فى تكوينها الكيميائى والطبيعى وفى مكوناتها ، ثم يجرى تجفيفها تماماً ، بإشعال الخشب بها ، أو بإشعال غاز الأفران العالية ، إذ أن أى تلامس بين الحديد السائل والماء ، يولد انفجارات بالغة الخطورة .

وعند قرب حلول موعد الصبة ، يبدأ عامل أول الفرن أو الملاحظ - شخص له خبرة طويلة - فى إزالة الطين الحرارى المفلق لفتحة الحديد ، جزئياً وباحتياطات بالغة ، وذلك باستخدام «عتلة الفتحة» ، الشكل (٤٠) ، ويحصل نتيجة عمله على ثقب دائرى بقطر ١٠ سم تقريباً . وهو فى خلال عمله ، يلاحظ دوماً مدى تماسك جوانب الفتحة واتجاه الثقب داخل الفرن ، الذى يميل فى العادة ٢٠° عن الأفق . ويستمر العامل فى العمل ، وإزالة الخلطة الجافة الناتجة ، حتى يبدأ لون الخلطة فى التغير من اللون الرمادى إلى اللون البنى الداكن ، وهذا دليل على الاقتراب من الحديد السائل . وعندئذ يتوقف عن العمل . ومن خلال ملاحظته ل تماسك الخلطة ، ومدى جفافها ، وحالة جوانب الفتحة ، يتمكن العامل من الحكم على ما سيكون عليه سير الصبة بعد ذلك ، وبالتالي يبدأ فى اتخاذ الاحتياطات اللازمة للتغلب على أية متاعب قد تحدث فى حالة الصبات غير عادية «توقع اتساع فتحة الحديد خلال الصبة وما يعقبها من اندفاع المعدن ، توقع خروج قطع من الكوك فى نهاية الصبة ، الخ .

وتعتبر المسافة التى تم تفريغها من الخلطة « طول الثقب » ، وهو من أهم مؤشرات التشغيل للأفران العالية ، ويسمى « طول فتحة الحديد » ، ويتطلب التشغيل السليم للأفران العالية ، ضرورة المحافظة عليه عند مقدار معين يتناسب وقطر بودقة الصهر . وقد حدد هذا المقدار بالنسبة للأفران التى يبلغ قطر بودقة الصهر بها أقل من ٥ أمتار بطول يبلغ من ١٢٠ إلى ١٥٠ سم ، وبالنسبة للأفران بقطر أكبر من ٥ أمتار ، بطول أكبر من ١٨٠ سم . ومن الناحية العملية ، تسبب زيادة أو نقص «دخول فتحة الحديد» عن هذا المقدار ، أضراراً بالتشغيل فثلاً يتسبب قصر الفتحة ، فى اندفاع المعدن والخبث بشدة عند فتح الفرن ، وكذا فى خروج كميات من الكوك ، تتراكم بالمجرى الرئيسى وأمام الفتحة ، مما قد

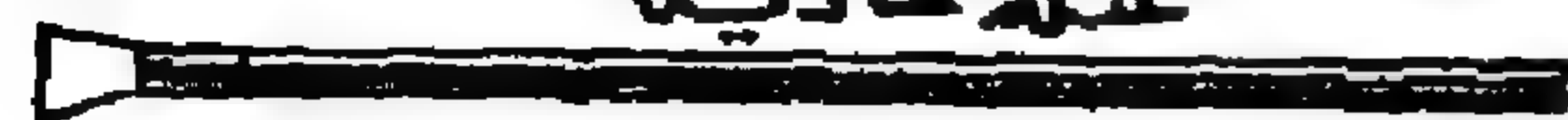
عتلة استخراج الودنات



عتلة عمل البورة



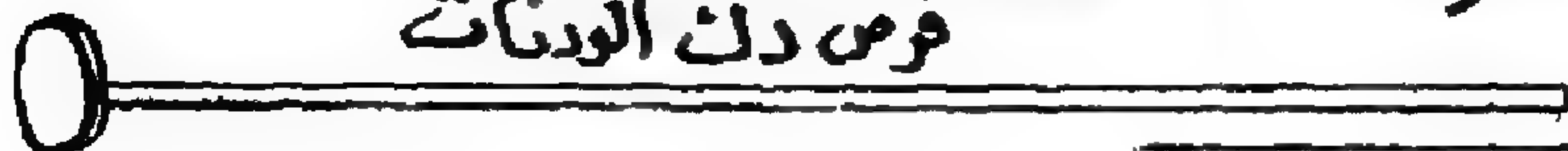
عتلة عادية



قرص دن الفاصل



قرص دن الودنات



كوزيك



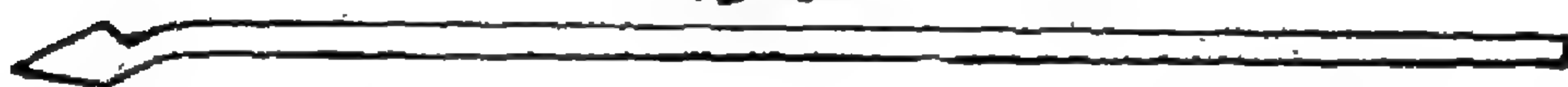
خلاف



عتلة تركيب وتخليع



الجزرة



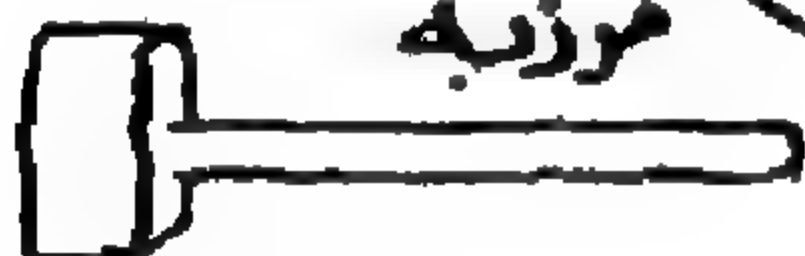
حامل للوردة



معلقة عينة



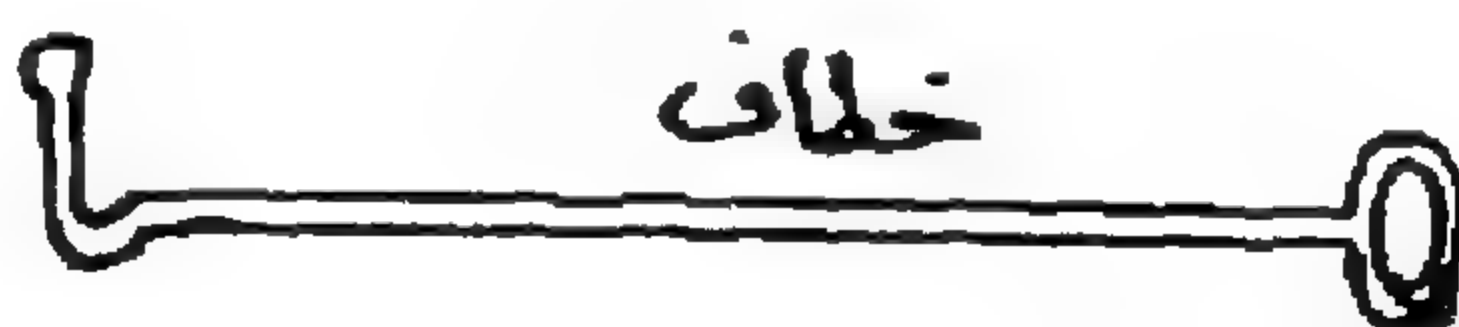
موزبة



حامل ورنه



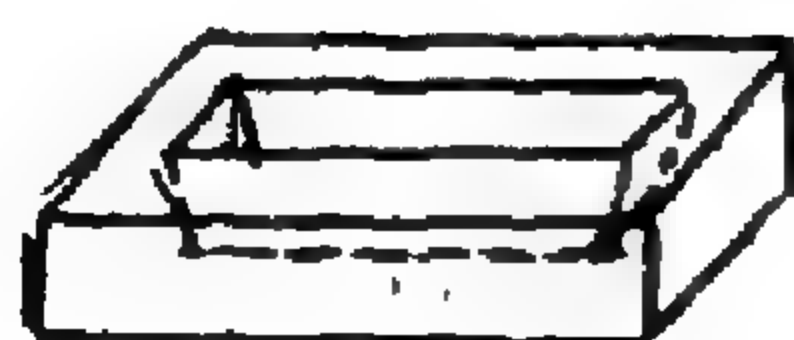
خلاف



خابور للجزرة وحلقة



قالب العينة



عتلة فتح



شكل رقم ٤٠ - بعض العدد والمعدات المستخدمة
الشفيل بصحالة الفريت

يتعذر معه اغلاق الفرن ، وبالتالي ضرورة ايقافه لإزالتها ، ليتمكن إغلاق الفرن . هذا بجانب عدم التمكن من تفريغ الفرن تماماً من الخبث والحديد الذى به عند قصر الفتحة . ولو استمر قصر الفتحة لفترة طويلة دون علاج ، فقد يؤدي ذلك إلى ما يسمى « تصدع بودقة الصهر » بالفرن العالى ، وإنه وإن كان ذلك التصدع يحدث نتيجة العديد من لأسباب ، إلا أن اقتراب المعدن والخبث ، ، وملاستها لمباني البطانة فى هذه المنطقة بالفرن ، يعد أكبرها مفعولاً . كما أن قصر الفتحة قد يؤدي إلى فتح الفرن تلقائياً ، وعلى حين غرة ، مما يسبب إرباكاً للعاملين ، وخسائر جسيمة للمعدات والآلات .

أما زيادة طول الفتحة عن الحد المحدد ، فيسبب طول الزمن الذى تستغرقه الصبات ، وبالتالي يسبب تضارب مواعيدها ، بالإضافة إلى انخفاض درجة حرارة المعدن ببوادر الحديد خلال هذه الفترة .

ويعالج قصر الفتحة بزيادة كمية الخلطة المستخدمة فى إغلاق الفتحة ، والتحكم فى مكوناتها ، وإضافة القار أحيانا إليها ، وقد يتطلب الأمر تخفيض كمية النفخ ، مع ضرورة زيادة كمية الخبث المحسوبة من فتحة الخبث العلوية . أما طول الفتحة ، فيعالج بالإقلال من كمية الخلطة المستخدمة فى الفتحات التالية ، وحتى الوصول إلى الطول المحدد .

وبعد الانتهاء من عمل الثقب « البورة » ، تستخدم ماكينة فتح الفرن فى ثقب القشرة الداكنة داخل الفرن ، ثم تسحب ، حيث ينساب الحديد أولاً . ويمضى الزمن ، ينساب خليط من الحديد والخبث إلى المجرى الرئيسى حتى فاصل الحديد عن الخبث ، حيث يتم فصلها تبعاً للوزن النوعى لكل منها ، ولينساب كل منها فى المجرى المخصصة له إلى البوادر . وأنواع مكينات الفتح عديدة :

١ - جاكوش فتح الفرن :

والذى يتكون من مطرقة تعمل بالهواء المضغوط ، تتسبب حركتها الترددية السريعة إلى الأمام وإلى الخلف ، فى دفع قضيب مركب بمقدمتها داخل الفرن ، وبالتالي فتح الفرن .

٢ - مكينات الفتح الكهربائية :

والتي تعمل بموتور يقوم مقام الهواء المضغوط فى إعطاء الحركة الترددية ، أو يتسبب فى دوران القضيب ، وبالتالي يسبب دخوله فى الفرن ويفتحه .

ومكينات الفتح تتركب على عمود بجوار فتحة الفرن ، بحيث تتحرك لتأخذ وضعها عند استعمالها ، ثم تحرك إلى جوار الفرن بعيداً عن المجرى الرئيسى بعد الفتح ، وعليه فهى

مجهزة بموتور للحركة الجانبية ، بالإضافة إلى موتور التشغيل .

وتعتبر « زاوية ميل » قضيب ماكينة الفتح عن الأفق في غاية الأهمية حيث أن التغير في قيمتها ، يؤدي إلى فتح الفرن في مناطق مختلفة به ، وبالتالي إضعاف تماسك بطانة الفرن في هذا المكان الحساس . هذا بالإضافة إلى أن إقلال قيمة هذه الزاوية عن القدر المحدد لها ، يؤدي إلى سهولة خروج قطع من الكوك ، تسبب في إغلاق الفتحة ، وتحتاج إلى مجهود في التسليك ، وبالتالي تؤدي إلى زيادة زمن الصبة .

وعند الانتهاء من الصبة ، ويعرف ذلك بنقص كمية الخبث والحديد التي تخرج من الفتحة وظهور لمب خارج من الفرن ، يعطى ملاحظ الفرن إشارة لعامل مختص لإغلاق الفرن ، أو إغلاق فتحة الحديد . ويستخدم لهذا الغرض « مكته غلق الفرن » وتسمى باللفة الدارجة « المدفع » ، التي تتكون من أسطوانة مغلقة ، يتحرك بداخلها « بستم » . وتتلأ هذه الأسطوانة بالخلطة الحرارية المستخدمة في إغلاق الفرن ثم تقفل ، ويتحرك البستم إلى الأمام ، ضاغطة الخلطة لملء أى فراغ بالأسطوانة ، أو بمقدمة المدفع المخروطية الشكل ، والتي تنتهى بها الأسطوانة ، ويستمر هذا الضغط حتى ينزلق بعض الخلطة من المقدمة ، تأكيداً لامتلاء الفراغ بها كلية . وعند صدور الأمر بالإغلاق ، تتحرك الماكينة في حركة دورانية ، لتأخذ مكانها أمام الفتحة ، وغلق مقدمتها المخروطية فتحة الحديد تماماً ، ثم يحرك البستم وبسرعة - بمجرد تلامس المقدمة وسطح الفتحة - لتدفع الخلطة الى داخل الفرن ، مغلقة الفتحة تماماً .

وتجهز مكنة الفتح بموتورات كهربائية لتحريك البستم ، ولتحريك المكنة في الاتجاه الأفق حركة دورانية . كما تجهز بفراصل تمنع حركة الماكينة من أمام الفتحة نتيجة الضغط عليها من داخل الفرن . وعادة تجهز أيضاً بمعدات كهربائية ، تحدد بداية ونهاية حركة كل جزء بها . كما تحمل مؤشراً يدل على كمية الخلطة التي استخدمت في عملية الإغلاق ، يساعد في معرفة موقف طول فتحة الحديد ، وبالتالي الهيمنة عليه .

بعد ضغط الخلطة داخل الفرن ، تظل مكنة الإغلاق مكانها مغلقة للفتحة لمدة وجيزة ، قبل أن يسمح بتحريكها من مكانها ، وهو الوقت اللازم لتماسك الخلطة نسبياً ، وبالتالي الاطمئنان إلى إغلاق الفرن ، ثم تحرك بمنتهى الحذر (لاحتمال فتح الفرن) إلى موضعها بجانب الفرن ، حيث يتم على الفور فتح الأسطوانة والماسورة المخروطية وتنظيفها من مخلفات الخلطة السابقة ، ثم تملأ من جديد ، إعداداً للصبة القادمة .

وقبل إغلاق الفتحة بالمكنة ، يلزم أن تكون جوانب فتحة الفرن وسطحها نظيفة تماماً من أى عائق قد يعوق تلامس مقدمة المكنة تماماً ، وبدقة مع سطح الفتحة ، فقد يترتب على ارتكاز مقدمة المدفع على أى عائق ، عدم تلامسها ، وبالتالي فعند ضغط الخلطة إلى داخل الفرن ، تتسرب هذه من خلال الحيز الموجود بينها ، ومن ثم لا يغلق الفرن ، ويستمر خروج بقايا الحديد التى تتسبب فى تآكل فوهة مقدمة مكنة الإغلاق ، ولهذا يتحتم تخفيض معدل نفخ الفرن أو توقف الفرن ، حتى يتم تغيير هذه ، ثم إغلاق الفتحة بعد ذلك .

٤ - فتح فتحة الخبث :

بعد صبة الفرن بحوالى الساعة ، تتجمع كمية من الخبث تعلو الحديد ببودقة الصهر ، بحيث تصل إلى مستوى فتحة الخبث الجانبية ، وعليه يبدأ فى فتح هذه للحصول منها على ما يسمى « الخبث العلوى » . ويتم ذلك - فى الأفران غير المجهزة بماكينه قفل فتحة الخبث - بالدق على نهاية قضيب من الحديد يغلق هذه الفتحة ، ثم تركيه من المرة السابقة ، ليدخل قليلاً إلى داخل الفرن ، ثم يسحب هذا القضيب لينساب الخبث إلى مجرى يتم دكه بخلطة خاصة من الطين الحرارى ، تحتوى على نسبة عالية من الكربون . ويجدد بناء المجرى مع استمرار ترميمه ، فى كل مرة يستخدم فيها خلال بقية اليوم ، مع إزالة أى أثر للمعدن الهارب فى كميات صغيرة مع الخبث الذى يتجمع عادة تحت جلبة الجلخ الصغيرة ، أو ملاس لصاج الفرن . ويفتح الفتحة ينساب الخبث إلى بواقه ، وعند انتهاء الصب ، تغلق الفتحة بواسطة (الجزرة) ، (أنظر الشكل ٤٠) ، وهى عبارة عن قضيب من المعدن يلحم فى إحدى نهايتيه مخروط من الصاج مغلق ، فيدخل الجزء المذهب من المخروط فى فراغ جلبة الخبث الصغيرة ، ويتلامس سطحه مع جوانب الجلبة ويفلقها . وبعد فترة من الزمن ترفع هذه ، ويدق فى مكانها قضيب يتراكم عليه بعد وضعه ، قليل من الخبث ، فيخلق الفتحة تماماً ، وهو القضيب الذى يتم سحبه عند بدء الفتح .

وقد يحدث أحيانا أن لا يخرج هذا القضيب بسهولة ، فيركب عليه خابور يربط إليه بواسطة حلقة من الصلب ، ثم يدق على الخابور فى الاتجاه خارج الفرن ، وبالتالي يسحب هذا فى حركته معه القضيب ، ويتم فتح الخبث . وقد يحدث أن يتم سحب القضيب دون خروج الخبث ، فيعاد إدخاله ثانية والدق عليه إلى داخل الفرن ، إلى مسافة أبعد ثم سحبه فتفتح فتحة الخبث .

أما إذا امتنع رغم كل ذلك خروج الخبث ، فتفتح باستخدام الأوكسجين ، ويتلخص ذلك في حرق الأوكسجين الخارج من أسطوانة خاصة خلال منظم يخفض من ضغطه الأصلي ، حيث أن ضغط الأوكسجين في أسطواناته يتراوح ما بين ١٥٠ ، ١٨٠ جوى . وعليه تفتح الأسطوانة لينساب منها الغاز بكمية صغيرة خلال خرطوم - بمواصفات خاصة - ثم إلى ماسورة من الصلب ، قطرها من ٦ إلى ٩ م . يوجه طرفها الآخر الحار إلى قطع من الكوك أو الخشب المتوهج ، حيث يبدأ اشتعال الأوكسجين . وعند التأكد من ذلك ، تزداد كميته ثم يسد طرف الماسورة هذا إلى منتصف جلبة الخبث الصغيرة ، فيتم فتحها وينساب الخبث منها . وهذه العملية من العمليات التي تحتاج إلى دقة ومهارة خاصة ، ذلك لأن الحرارة الناجمة عن احتراق الأوكسجين تسبب إسالة معدن الماسورة المستخدمة ، عن طرفها القريب من اللهب ، وهذا المعدن السائل ، يؤدي إلى تآكل نحاس جلبة الخبث عند سقوطه على سطحها ، وربما أدى إلى إحداث ثقب بها ، مما يسبب متاعب تشغيل كبيرة بعد ذلك . ولهذا ، وفي مثل هذه الحالات ، يغطى الجزء الأسفل من الجلبة برمل المسابك ، منعاً لتلامس المعدن المنصهر وسطح الجلبية .

ويعمل ما يحدث عند فتح جلبة الخبث باستخدام الأوكسجين ، بأنه وكنتيجة لاحتراق الغاز ، تتولد في المحيط كمية عالية من الحرارة ، تساعد في تكوين مركبات جديدة من حديد الماسورة المنصهر ، ومركبات الخبث المغلق للفتحة ، وتتميز هذه المركبات بانخفاض درجة حرارة إسالتها ، فيتوالى حرق الأوكسجين ، تنصهر هذه ، وتتكون مكانها ثغرة ينساب من خلالها الخبث الساخن من داخل الفرن ، ليكمل إسالة بقية الخبث المغلق أصلاً للفتحة .

وتستخدم حالياً في كثير من بلدان العالم ، ماكينة لفتح جلبة الخبث ، تماثل في شكلها ونظرية تشغيلها ، تلك المستخدمة في فتح الفرن ، وتركب هذه إلى جوار فتحة الخبث . وفي الأفران ذات فتحة الخبث ، تركيب لكل منها ماكينة خاصة ، وبالتالي يمكن تحاشي الكثير من الأخطار التي قد تصيب العاملين في هذه المنطقة الحساسة .

وبجنب عند استخدام الأوكسجين في فتح الفرن ، أو فتح جلبة الخبث ، التأكد من عدم وجود أى أثر للمشحومات أو الزيوت في مسار الأوكسجين ، وخاصة في الخراطيم المستخدمة ، لأن ذلك يولد انفجاراً خطيراً ، قد يفتت الخراطيم ويضر بالعاملين .

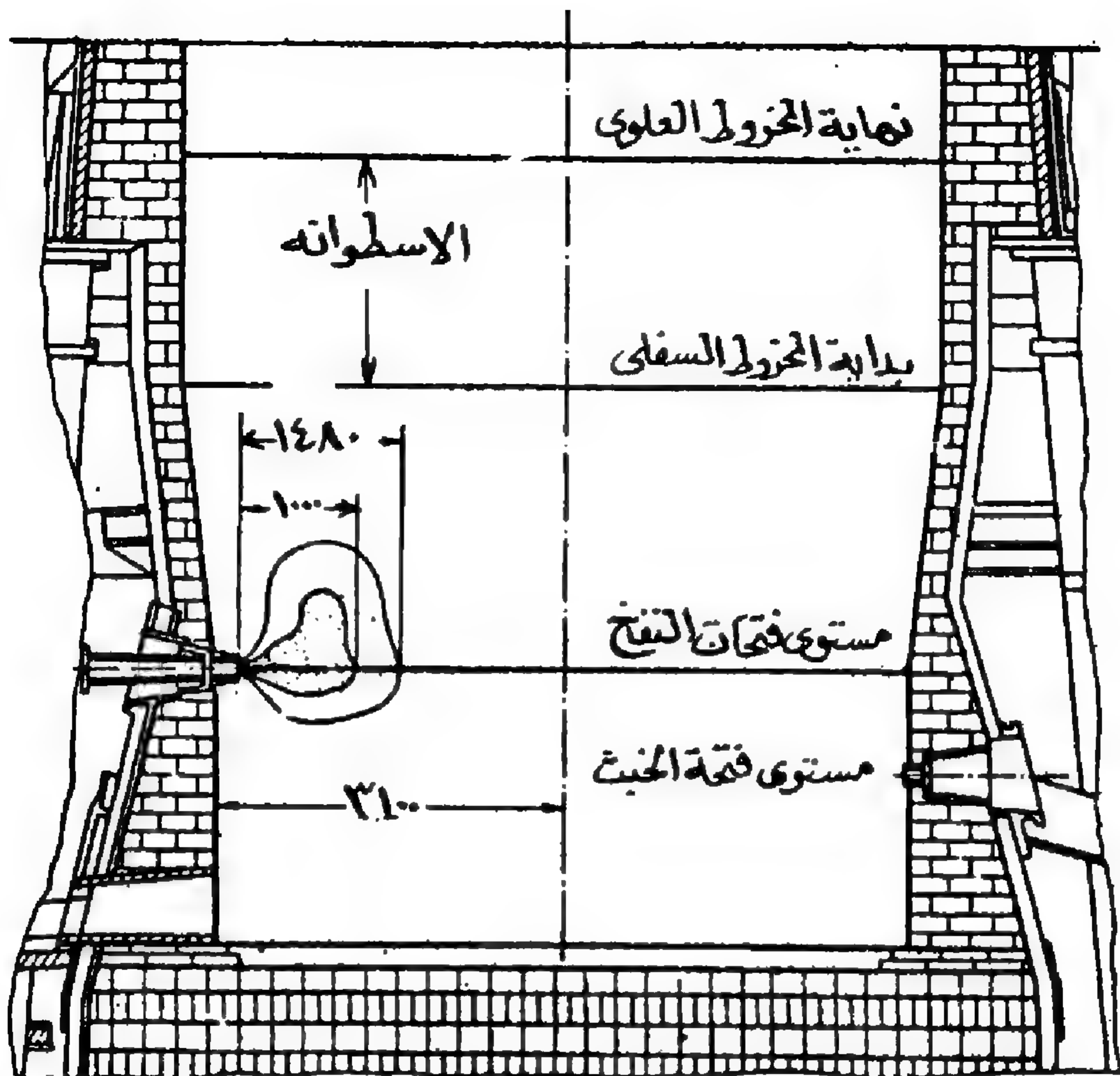
٥ - تركيب وتغيير معدات التبريد :

يستخدم في الأفران العالية ، وبغرض تبريد بطانة الفرن ، ومداخل ومخارج الهواء اللافح ، والخبث ، مبردات عادة من الحديد الهياتي الأولى ، ومن النحاس للثانية ، يمرر الماء خلالها ، ليحفظ لها شكلها ، ويمتص جزءا من الحرارة المتعرضة لها . ومن الثابت عمليا ، أن كفاءة التبريد هذه ، تقف عند حد معين ، وبالتالي تتآكل بطانة الفرن - في المراحل الأولى من تشغيله - بمعدل سريع ثم يبطئ ، حتى تكتسب بعد فترة « بروفيللا » أكثر ثباتا ، وأقل تآكلا . وعند هذا الحد ، تتعرض أسطح أو مقدمات هذه المبردات إلى درجات حرارة عالية ، بالإضافة إلى تلامسها المباشر مع الخبث والحديد في المناطق السفلى من الفرن ، الأمر الذي يسبب لها أضرارا كبيرة ، خاصة إذا ما تعرضت لانقطاع مفاجيء للماء المار بها لسبب أو لآخر ، وينجم عن ذلك حدوث ثقب أو شروخ بها ، ينساب منها الماء الداخل الفرن . ويكتشف ذلك عن طريق زيادة نسبة الهيدروجين في الغازات الخارجة من الفرن ، أو عن طريق مراقبة كمية المياه الخارجة من المبرد ، ودرجة حرارتها أو ضغطها . كما يمكن معرفة ذلك ، بملاحظة برودة الخبث والمعدن المفاجئة ، أو بزيادة معدل الشحنات للفرن في الساعة ، الخ . من العديد من شواهد الخبرة ، وعليه يستوجب الأمر سرعة التخلص من المبرد المعطوب ، واستبداله بعد تحديده .

وتتم عملية التحديد عادة بخبرة العاملين ، ثم يؤكد ذلك بتوصيل الجزء المعطوب بمقياس في دائرة التغذية ، لقياس كمية الماء الداخلة والخارجة . وقد يستخدم أحيانا جهاز للضغط ، يوصل بمدخل المبرد المعطوب ، ثم يخرج المبرد ، وتضغط كمية من الماء من الجهاز إلى المبرد ، إلى أن يصل المبرد إلى مقدار معين ، ويترك فترة من الزمن يراقب خلالها جهاز المانومتر المركب بالجهاز ، فإذا انخفضت قيمة الضغط عن الضغط الأصلي ، كان ذلك دليلا على عطب المبرد . أما إذا ثبتت القيمة أو زادت قليلا ، نتيجة ارتفاع درجة حرارة الماء بالمبرد ، دل ذلك على سلامة المبرد . وبالتالي يتحتم اختبار المجاورين له ، أو البحث عن سبب آخر لبرودة الخبث والحديد .

- بعد تحديد المبرد المعطوب ، يغلق مدخل مياه التبريد المناظر له جزئيا ، بغرض الإقلال من كمية المياه الداخلة إليه ، وبالتالي الإقلال من تسربها لداخل الفرن ، ثم يبدأ فورا في اتخاذ الإجراءات اللازمة لاستبداله .

ففي حالة الودنات أو مبرداتها ، أنظر الشكل (٤١) ، يوقف الفرن ، وتفك توصيلات



شكل (٤) - منطقة الأكسد .

الهواء اللافح الخاصة بالمبرد المعطوب ، وذلك بإزالة « خوابير » تثبيت الكوع الكبير إلى ماسورة الهواء اللافح ، ثم يسحب الكوع إلى الخلف ، بواسطة شدادات تعلق في أماكن خاصة بمجهزها الفرن ، وبالتالي تسحب ماسورة النفخ ، حيث يبدأ بعدئذ في دك شحنة الفرن خلف المبرد المعطوب ، بكرات من طينة حرارية ، وبغاية تامة ، وذلك حتى لا تنهار المشحونات عند سحب الودنة أو المبرد من مكانها ، وتسبب متاعب لإزالتها عند تركيب البديل الجديد . كما أن ذلك يمنع تعرض الودنة أو المبرد الجديد عند تركيبه ، لحرارة الفرن مباشرة قبل التمكن من توصيله بمياه التبريد ، وبالتالي تجنب احتمال حدوث أى أضرار به . بعد ذلك يبدأ في فك توصيلات مياه التغذية ، ثم يسحب الجزء المعطوب من مكانه ، وذلك باستخدام مطرقة خاصة ، عبارة عن عامود غليظ من الصلب ينتهى بشفة سميكة على هيئة خطاف . أنظر الشكل (٤٠) يركب في الحيز بين سطح المبرد (الودنة) وعارض سميكة من الصلب ، يركب في فجوتين خاصتين تكونها حافتان بارزتان بجسم المبرد (أو الودنة) . وبالطرق المنتظم على هذا العارض ، يتخلخل المبرد (أو الودنة) من مكانه فيسحب خارجا . وقد يتعذر أحيانا عملية إخراج المبرد (أو الودنة) ، حيث أنه وكنتيجة لخفض كمية مياه التبريد ، يتمدد ويتأسك بجدار الفرن ، فعندئذ يجب أن تتوقف عملية الدق ، ويترك المبرد (أو الودنة) لفترة من الزمن ، ثم يبرد فجأة ، وذلك بزيادة كمية مياه التبريد له دفعة واحدة . وحينئذ يجب أن يتبعد العاملون عن مداخل الهواء اللافح ، ذلك أنه يحتمل أن يتسرب جزء من هذا الماء لداخل الفرن ، وبالتالي يتكون « غاز الماء » سريع الاشتعال ، مما قد يسبب خروج لهب من مداخل الغاز . وبعد انتهاء عملية التبريد المفاجيء يبدأ ثانية الدق لإخراج الجزء المعطوب . وربما يتكرر ذلك للعمل أكثر من مرة . فإذا فشلت كل الجهود لإخراج المبرد (أو الودنة) ، يلجأ إلى تسخينه بقطع من الخشب الملتهب توضع في تجويفه ، يعقبها تبريد مفاجيء ، وهكذا . . . حتى يتم سحبه من موضعه . أما إذا تعذر رغم ذلك كله ، إخراج المبرد من مكانه ، فيقطع إلى أجزاء باستخدام لهب الأوكسجين ، ويرتفع كل جزء منها على حدة . ويستغرق ذلك وقتا طويلا ، وجهودا مضنيا . ويحدث ذلك عادة عند عدم نظافة المنطقة خلف المبرد (أو الودنة) داخل الفرن ، ووجود معدن منصهر مرتبط بسطح المبرد الداخلى ، لا يتمكن العاملون من تنظيفه .

وباتتهاء عملية إخراج المبرد (أو الودنة) من مكانه ، يبدأ في تنظيف جوانب هذا المكان ، وعادة إضافة طبقة طينية حرارية رقيقة في محيطه . ثم تختبر ملاءمة المكان المعد

لتركيب الجزء الجديد ، الذى يتم رفعه إلى مكانه ، باستخدام رافع خاص عبارة عن قضيب مشكل بهيئة قوس ثلاثى شكل المبرد الخارجى ، ويحمله العاملون من أطرافه ، انظر الشكل (٤٠) . وبالتالي يوضع البديل فى مكانه بصفة مبدئية ، حيث يتم توصيل مياه التبريد إليه ، ثم يركب فى مكانه بدقة بعد ذلك ، بالطرق على العارض ، باستخدام المطرقة ، وعند انتهاء ذلك ، يبدأ فى تركيب مجموعة النفخ ، حيث تتركب ماسورة النفخ والكوع الكبير وخوابير التثبيت والشداد الملحوم بجسم الفرن . ثم تختبر المجموعة ضد التهريب ، ويتطلب ذلك تحديد موضع ماسورة النفخ من الكوع الكبير ، مع بدء فك المجموعة ، ليعاد تركيبها فى نفس الوضع . وبانتهاء التركيب يعاد تشغيل الفرن .

وتكون مجموعة توصيلات الهواء اللافح والشداد الذى يربطها إلى جسم الفرن ، تجهيزات تمنع أى احتمال لطرد مجموعة الودنات أو المبردات من مكانها ، بفعل الضغط عليها من داخل الفرن .

أما جلبة الخبث ، ومبردها ، فيحكم تثبيتها فى مكانها ضد هذا الضغط ، مجموعة من الخوابير تربطها والمبرد بجسم الفرن . تمنع أى احتمال لإزاحتها من مكانها . ويتم خلصها وتركيبها ، بنفس الطريقة المتبعة مع ودنات النفخ ومبرداتها .

ويستدعى تركيب مبرد جلبة الخبث غالبا تغليفه قبل تركيبه بطبقة من الطينة الحرارية ، تسد كل الفراغ المحتمل وجوده بين سطحها الخارجى ، ومباني الفرن فى هذه المنطقة ، حتى لا يتسرب الخبث أو المعدن من خلال هذه الفراغات إلى الخارج ، مسببا تآكل الجلبة أو الإضرار بجسم الفرن .

أما مبردات الطوب الحرارى فى المخروط العلوى ، والتي تتكون من صناديق التبريد ، المكشوفة ، فيتم الكشف عن سلامتها بإغلاق ماسورة التغذية ، ومراقبة كمية المياه المتبقية فى الصندوق لفترة ما ، فإذا نقصت كان ذلك دليلا على وجود ثقب بالصندوق ينساب منه الماء إلى داخل الفرن . وعليه يتم رفعه من مكانه كى يستبدل به آخر سليم . وقد يتطلب ذلك فى كثير من الأحيان ، تقطيع الجزء الملامس لمباني الفرن من الصندوق ، باستخدام لىب الأوكسجين ، ثم تنظيف وإعداد مكان البديل . وخلال عمليات القطع والتجهيز هذه ، تدك الشحنة داخل الفرن ، بطبقة من الطين الحرارى ، لمنع دخول الهواء الجوى نتيجة السحب ، وبالتالي احتمال تكوين خبث يتساقط فيغلق الفتحة نسييا ، ويتسبب فى عدم إمكان سرعة تجهيز المكان لتركيب الصندوق الجديد . وإذا حدث واكتشف خلل مبرد ما خلال أيام

التشغيل ، تغلق مياه التغذية عنه نهائيا ، ويغلق بطينة حرارية بدون توقف التشغيل ، ويترك كذلك حتى موعد الصيانة المقبلة ، حيث يتم تغييره .

أما إذا جهز الفرن بالمبردات الحديثة ، انظر شكل (٣٥) التي يصعب أو يتعذر خلعها من مكانها ، فيكتفى في مثل هذه الحالات ، بإغلاق تغذية المبردات وتركها ، وخاصة مبردات بودقة الصهر والمخروط السفلى .

٦ - توقف الفرن العالي :

تتطلب عملية توقف الفرن العالي ، العديد من الإجراءات الدقيقة المعقدة والمتشابكة ، والتي تدعو دواعى الأمن وسلامة التشغيل ، إلى العناية الفائقة بإتمامها خطوة بعد الأخرى ، كما أنه يلزم إيقاف الفرن عن العمل ، برودة الشحنة « ولو جزئيا » ، وبالتالي احتمال العديد من المتاعب عند إعادة التشغيل . ولهذا كله ، التزمت تكنولوجية تشغيل الأفران العالية بمبدأ التشغيل المستمر والإقلال من التوقفات ما أمكن . وعموما يمكن تقسيم توقفات الأفران العالية إلى الأنواع التالية :

الأول : توقفات محدودة الزمن ، تتطلبها أعمال الصيانة لبعض معدات التشغيل الميكانيكية أو الكهربائية ، أو لتغيير الودنات أو جلب الخبث أو ميزاتهما المعطوبة . ولا يتعدى زمن التوقف في هذه الحالات أكثر من ١٦ ساعة متواصلة .

الثاني : توقفات تستغرق من ثلاثة إلى أربعة أيام ، لإصلاح معدات الشحن أعلى الفرن أو تغييرها ، أو تغيير التسليح أعلى المخروط العلوى . وتتم هذه العملية مرة كل سنتين (خاصة مع الأفران ذات الضغط العالى بالقمة) .

الثالث : توقفات هدم وإعادة بناء البطانة الحرارية لمنطقة المخروط العلوى ، وتستغرق هذه من ١٥ إلى ٢٠ يوما ، وتتبعها فى العادة إصلاحات وأعمال صيانة أخرى بالوحدات المساعدة . وتتم هذه العملية مرة كل أربع سنوات .

الرابع : توقف لعمره شاملة ، يتم خلالها هدم وإعادة تبطين الفرن ، وإصلاح معدات الشحن أو تغييرها . وكذا تجرى عمرات شاملة بالوحدات المساعدة كالمسخنات ومواسير توصيل الهواء اللافح . وعموما يشمل الإصلاح أو التغير كل المعدات التى تدخل فى تشغيل الفرن ، وتستغرق هذه التوقفات فترة تتراوح ما بين ٣٥ إلى ٤٥ يوما ، ويتم بمعدل مرة كل ٦ إلى ٧ سنوات .

وينظم هذه التوقفات جميعها ويحددها ، برنامج محدد ومعروف مقدما لدى جميع مسئولى

المصانع ، يظهر في صورة خطة منسقة على مدار كامل ، يحدد بها موعد وساعات التوقف ، والأعمال التي يجب أن تتم خلال التوقف ، والزمن الذي يستغرقه كل منها . بحيث تكون الصورة واضحة لجميع المنفذين ، وكذا لباقي العاملين بوحدات المصنع الأخرى ، حتى تتمكن هذه من القيام ببعض الصيانات اللازمة لمعدات التشغيل بها خلال نفس الفترة .

الخطوات الواجب اتباعها عند إيقاف الأفران العالية :

كما سبق ذكره ، تُلَازِم توقف الأفران مخاطر جسيمة ، منها احتمال حدوث انفجارات ، أو تسمم العاملين بغاز الأفران الخائِق ، أو متاعب تكنولوجية . وللقضاء على كل احتمالات حدوث هذه الأخطار ، يرتبط العاملون بالأفران جميعهم ، بخطة عمل تكاد تكون موحدة على المستوى العالمي ، يمكن تلخيصها كالآتي :

١ - تحظر وحدات الأمن الصناعي ، والمرافق والغازات ، ومستهلكو غاز الفرن العالي ، والصيانات المركزية أو الملحقة ، بتوقف الفرن ، بمجرد البدء في الإعداد لصب الصبة الأخيرة ، حتى تتخذ كل منها - كل في مجال عمله - الاحتياطات اللازمة .

٢ - تتخذ الخطوات اللازمة لتفريغ الفرن من كل ما به من المعدن والخبث تماما قبل التوقف مباشرة ، ولزيادة التأكد يترك الفرن « بنفخ » - وهو التعبير الذي يطلق لوصف عملية خروج الغازات المحترقة من فتحة الحديد بعد انتهاء الصبة - لفترة زمنية كافية ، مع تحاشي خروج الكوك وتراكمه أمام فتحة الحديد .

٣ - تغلق فتحة الحديد بكمية قليلة من الطينة الحرارية - أقل من المعدل العادي - وذلك لتسهيل عملية فتح الفرن عند إعادة التشغيل . وقد تزداد كمية الفحم في الطينة المستخدمة لنفس الغرض

٤ - يبدأ تدريجاً في تخفيض كمية هواء النفخ ، ويستمر ذلك حتى يصبح ضغط الهواء اللافع مساوياً ١,٢ جوى ويراقب مستوى الشحنة بالفرن ، وتعطى الأوامر ، وبوضوح ، بالامتناع نهائياً عن شحن أية شحنة ، وبالتالي يمنع فتح الأجراس نهائياً .

٥ - يبدأ في اتخاذ خطوات فصل الفرن عن شبكة غازات المصانع ، وذلك بإغلاق « بلف » مجمع الأتربة ، في نفس اللحظة التي تفتح فيه الهواية أعلى الفرن تدريجاً ، وفي تناسق تام بين القائمين بالعملتين .

٦ - تجهيز بعض الأفران العالية بفواصل بعد مجمع الأتربة والحلزونات ، عبارة عن خزان على شكل (U) يمكن ملؤه بالماء ، وذلك زيادة في احتياطات فصل الفرن المتوقف

عن شبكة الغازات ، وخوفا من تهريب بلف مجمع الأتربة .
٧ - يفتح البخار في المناطق التي يتحمل فيها تكون خليط من الغازات القابلة للاشتعال والمبينة بالشكل ٤٢ ، وهي تحت الجرس الكبير ، وما بين الجرسين ، وأعلى مجمع الأتربة الشكل (٤٢) .

٨ - يحدد خلال نفس الوقت ، أى مبرد يحتمل وجود عطب به ، وذلك من خلال النظر داخل الفرن من منظار الودنة ، أو بمراقبة كمية مياه التبريد الخارجة منه ، (في العادة يصحب العطب خروج مياه التبريد متقطعة) ، وعليه تخفف مياه التبريد إلى أقل ما يمكن ، تمهيدا لمخلعه واستبداله بمجرد التوقف .

٩ - تخفيض كمية الهواء الداخل تدريجاً ، ثم يمنع عن الفرن نهائياً .
١٠ - تفتح الأبواب الموجودة بكيمان النفخ ، وتغلق فتحات النفخ (بعد التأكد من سلامة المبرد والودنة بمراقبة الفحم أمامها) بكرات من الطينة الحرارية أما المعطوب منها ، فيتم تغيير مباشرة .

١١ - يتم الكشف على دورة تبريد الفرن في المستويات المختلفة ، وتحديد أى عطب بها لإصلاحه .

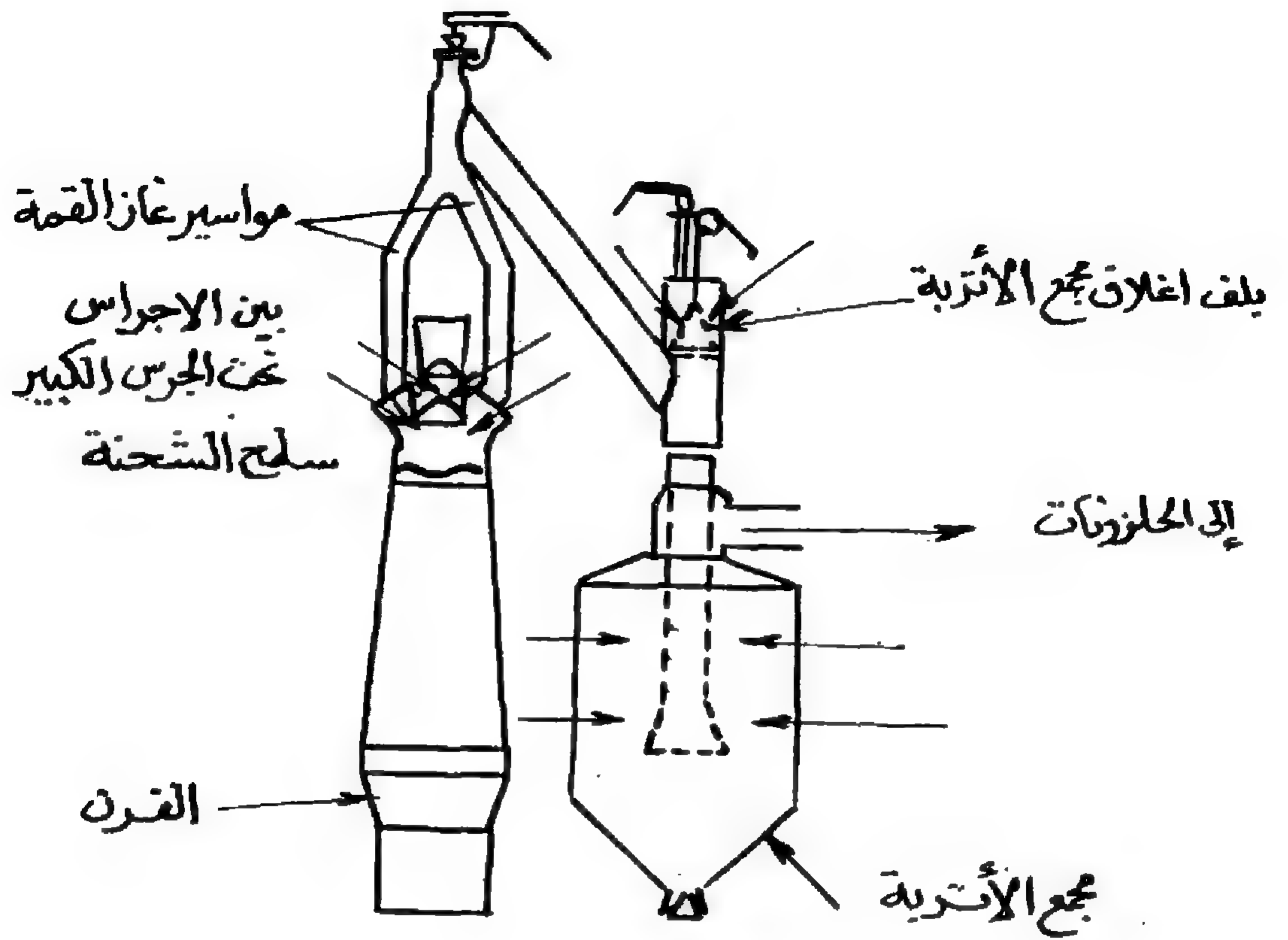
١٢ - بعد التوقف بحوالى ساعتين من توقف الفرن ، تخفض كمية مياه التبريد الخارجى لجسم الفرن ، وكذا للودنات والمبردات .

١٣ - لا يسمح بتشغيل مجموعات الصيانة ، إلا بعد التوقف التام الهادئ السليم للفرن ، وتصريح مسئول الأمن الصناعى بذلك .

٧ - إشعال الغاز أعلى الفرن :

تخاشيا لحدوث الانفجارات ، أو تسمم العاملين بسبب استنشاق الغاز عند إجراء صيانات بأجهزة الشحن أو بقمة الفرن ، يلجأ العاملون إلى إشعال الغاز أعلى الشحنة . ويجرى ذلك بإلقاء بعض الخشب الجاف ، أو الخرق المبللة بالشحومات والزيت والمازوت بداخل الفرن ، في الحيز الذى يعلو الشحنة . ولهذا تخفض كمية النفخ إلى أقل كمية ممكنة ، ثم تفتح بوابتان من بوابات الانفجار أعلى الفرن . تلك التى تواجه هبوط الريح وتلك العمودية عليه . وتلقى الخرق المبللة بالشحم والأخشاب الجافة من الباب الأول ، حتى يبدأ الغاز في الاشتعال على سطح الشحنة .

ويجب اتخاذ الحذر الشديد ، عند القيام بهذا العمل ، لأنه كثيرا ما يصاحبه العديد من



شكل رقم ٤٢ - يبين أماكن فتح البخار عند توقف الفرن
منعاً لحدوث انفجارات

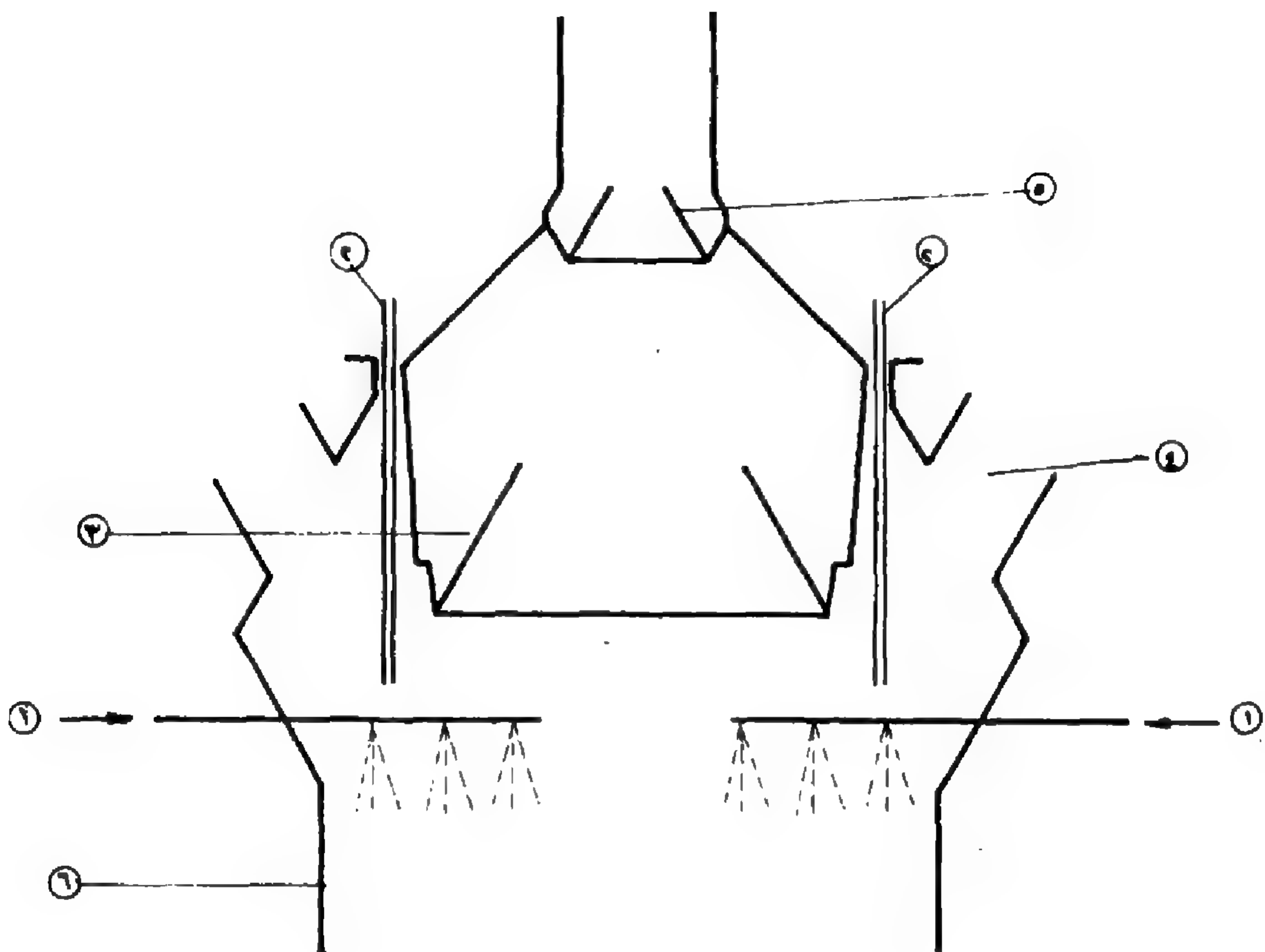
الانفجارات ، أو يصاحبه خروج اللهب من بوابات الانفجار ليصيب من يواجهه . ولهذا ، يقف المشتغلون بإشعال الغاز في وضع منحرف عن مواجهة البوابات ، في اتجاه مضاد لاتجاه هبوط الرياح ، وبالتالي اتجاه الغازات الناتجة . وعندما يطمئن العاملون إلى اشتعال الغاز بصفة مستمرة ، يتوقف النفخ تماما وتراقب الشعلة أعلى الشحنة ، وكيفية توزيعها على سطح الخامات . كما تراقب درجة حرارة الغاز أعلى الفرن ، حتى لا ترتفع هذه إلى درجة عالية ، فتسبب أضرارا بأجهزة الشحن ، أو بأعلى القمة .

ويلاحظ في هذا النوع من توقفات الأفران ، عدم المساس بتكوين الشحنة الأصلية ، خلافا لإضافات قليلة من الكوك ، مع الامتناع عن شحن الإضافات الحديدية . ونادرا ما تنخفض القاعدية ، ولكن مكونات الشحنة تظل كما هي ، وكذلك يظل مستوى الشحنة عند المستوى المحدد للتشغيل ، أو بمعنى آخر ، أن يكون الفرن مملوا بشحنة أقرب ما تكون إلى الشحنة الأصلية . ويتبع هذا النوع من التوقف ، في حالة تغير أجهزة الشحن أو إصلاح عطب يستغرق وقتا لا يتعدى ثلاثة أيام .

وبعد توقف النفخ تماما ، والاطمئنان إلى تناسق الشعلة أعلى الشحنة ، يبدأ في إغلاق فتحات نفخ الهواء بالماصة ، وأحيانا تزال الودنات وودنات الخبث ويغلق مكانها بالماصة ، وذلك لمنع سحب الهواء من خلالها ، وخلال الشحنة إلى أعلى الفرن ، وبالتالي حرق الكوك الموجود بالشحنة ، وزيادة الجزء المنصهر من الخامات ، مما يسبب المتاعب عند إعادة التشغيل .

أما إذا زادت فترة التوقف عن ذلك ، ولمدد محدودة (أقصاها شهر) ، عند عدم الرغبة في الإنتاج لظروف أو لأخرى ، فيتم شحن الفرن بشحنة خفيفة ، وهي عبارة عن شحنة تحتوي الكوك بنسبة أعلى من المفروض ، وذات قاعدية منخفضة (٠,٦ إلى ٠,٨) .

وفي حالة ما إذا زاد زمن التوقف عن ذلك ، فيوقف الفرن باستخدام « شحنة عمياء » ، وهي عبارة عن كوك وما يلزمه من حجر جيري فقط ، ويوقف الفرن ممتلئا بمثل هذه الشحنة . كما يمكن في هذه الحالات ، أن يستمر تشغيل الفرن بشحنته الأصلية ، مضافا بأعلاها بضع شحنات من الكوك فقط ، ويتوقف شحن أية مشحونات مع استمرار النفخ ، حتى ينخفض مستوى الشحنة بالفرن إلى أعلى بقليل من مستوى الودنات . وفي هذه الحالة ، يجب اتخاذ كافة الإجراءات للتغلب على ارتفاع درجة حرارة الغازات الصاعدة ، باستخدام البخار أو رذاذ الماء الشكل (٤٣) . وتسمى هذه الطريقة «طريقة النفخ العميق



الشكل ٤٣ - أماكن وضع أدشاس تبريد شحنة الفرق

للفرن . وقد يغطى سطح الشحنة حينئذ بطبقة من الحجر الجيري ، تسبب زيادة نسبة غاز ثان أكسيد الكربون بالغازات المتولدة والصاعدة ، وبالتالي تقلل من احتمالات الانفجارات أو الاشتعال . هذا ، بالإضافة الى أن تحلل الحجر الجيري يحتاج إلى كميات كبيرة من الحرارة ، مما يخفض من درجة حرارة هذه الغازات . وقد تضاف طبقة من الخبث المحبب ، فتعمل كعازل بين الشحنة والمحيط الذى يعلوها ، وبالتالي تعمل على الإقلال من الاتصال المباشر بينها .

كما تستخدم طريقة النفخ العميق هذه ، عند الرغبة فى إجراء تجديد للطوب الحرارى للمخروط العلوى بالفرن ، أو عند الرغبة فى التخلص من بعض الرواسب التى تجمعت على جدران الفرن فى المناطق العليا منه .

ونظرا لأن عملية إضافة رذاذ الماء للتبريد ، يلزمها خطر حدوث انفجار ، إذا ما وجد الماء سبيلا إلى المناطق المرتفعة الحرارة بالفرن ، لهذا يراقب ضغط بخار الماء أعلى الفرن ، حتى لا يتعدى قيمة معينة . كما يضاف بعض الكوك الناعم الرطب ، ليملاً الفجوات بين المشحونات ، ويساعد على زيادة نسبة بخار الماء فى المحيط أعلى سطح الشحنة ، مقللاً بذلك احتمالات حدوث الانفجار .

وقد يحدث أحيانا ، عند الرغبة فى توقف الأفران ، مع الرغبة فى الإقلال من المخاطر ، أن يلجأ فى حالة العمرات الشاملة ، وكما يحدث بالفرن العالى رقم (١) بمصنع الحديد والصلب بجمهورية مصر العربية سنة ١٩٦٤ إلى توقف مملوء بشحنة من الكوك ، المبلل بالماء ليحفظ درجة حرارة الغازات الصاعدة أقل من ٤٠٠ إلى ٥٠٠ م° .

وفى الحقيقة ، لا يمكن تفضيل إحدى الطرق عن الأخرى بالتحديد ، ولكن تتوقف الطريقة المستخدمة إلى حد بعيد ، على تفضيل وخبرة العاملين بالمصانع المختلفة .

٨ - سحب الحديد المتجمع أسفل بودقة الصهر :

مع استمرار تشغيل الفرن - وكما ذكر من قبل - يتجمع بأسفل الفرن كميات من المعدن المنصهر - نتيجة تآكل بطانة قاع بودقة الصهر - هذا بالإضافة إلى معدن الرصاص إن وجد أصلا بالمشحونات ، مكونة كمية كبيرة لا يستهان بها من المعدن . وعليه فعند إجراء العمرات الشاملة بالأفران ، يجب التخلص من هذه الكمية قبل البدء فى تبريد شحنة التوقف بالماء ، حتى لا يتجمد المعدن بهذه المنطقة ، ويتسبب فى مشاكل خطيرة للتخلص منه . لهذا تفتح فتحة جانبية فى الجهة المقابلة لفتحة الحديد أو عموديا عليها ، وفى مستوى

منخفض عن مستواها ، وذلك باستخدام لبب الأوكسيجين ، لتنساب منها هذه الكمية من المعدن إلى صالة الصب الاحتياطية بجوار الفرن ، أو تنقل عن طريق مجارى خاصة ، إلى بواقي موضع خصيصا لا ستقبالها . وقد بلغت هذه الكمية فى بعض الأفران أكثر من ١٠٠٠ طن .

ويمكن تحديد مستوى الفتحة هذه واتجاهها - بصورة تقريبية - من خلال قراءات درجة حرارة مباني القاعدة ، وقد ينجم نتيجة عدم سحب الكمية كلها وتجمدها عند تبريد شحنة التوقف ، كتل ضخمة الشكل ، تحتاج إلى مجهود كبير فى إزالتها أو تفجيرها . كما حدث بالفرن الأول بمصانع الحديد والصلب . وحديثا يتم سحب هذا المعدن قبل توقف الفرن نهائيا . وتعتبر هذه آخر صببات الفرن يتوقف بعدها ، ليبدأ تبريد شحنة التوقف ، بإضافة الماء خلال الأدشاش التى تم تركيبها بأعلى الفرن . وتجرى عملية التبريد فى بدايتها ، بكمية محدودة من الماء ، تزداد تدريجيا بمرور الزمن . ويخرج البخار من فتحة الهواية أعلى الفرن . ويجب الاهتمام التام فى هذه المرحلة ، بمراقبة حرارة الغازات أعلى الفرن ، مع تحاشي تسيل الماء إلى المناطق مرتفعة الحرارة ، ويجرى ذلك بمراقبة ضغط البخار أعلى الفرن . وهكذا ، وبلاستمرار فى إضافة الماء ، تبرد طبقات الشحنة الواحدة تلو الأخرى ، ويستمر ذلك حتى يبدأ الماء فى الظهور من الودنات ثم من فتحة الحديد . ويكون ذلك دليلا على إتمام عملية تبريد شحنة التوقف . وفى العادة ، يترك الماء ينساب لفترة أربع ساعات بعد ذلك احتياطيا .

وعندئذ يبدأ فى رفع جلب نفخ الهواء ومبرداتها ، ويبدأ فى سحب شحنة الفرن لتفريغه نهائيا ، تمهيدا لإعادة تبطينه . ولهذا تفتح بصاج الفرن عند فتحة الحديد ، فتحة تعمل من خلالها معدات نقل « اللودرات » لتفريغ المشحونات بسرعة .

وبفراغ الفرن من الشحنة الواقعة أعلى مستوى فتحة الحديد ، تفتح فتحة أخرى فى مستوى منخفض بجدار الفرن فى الجهة المقابلة لموضع فتحة الخبث ، يبدأ منها فى تفريغ بقايا المشحونات ، ثم ناتج هدم بطانة قاع الفرن والطوب الحرارى وبقايا المعدن . وتزال كل طبقات الطوب الحرارى بالقاع ، حتى الوصول إلى الطوب السليم تماما . كما تستخدم هذه الفتحة فى إزالة مخلفات البطانة بأجزاء الفرن الأخرى . وبإتمام هدم وإزالة البطانة جميعها ، تغلق الفتحة تماما باللحام من الداخل والخارج ، ويبدأ فى تبطين الفرن بالبطانة الجديدة .

ليبدأ الفرن بعدها رحلة جديدة يتكرر بها كل ما ذكر مسبقا، وحتى نهايتها، وهكذا .
مراقبة تشغيل الأفران عن طريق الحديد والخبث الناتجين :

تتضافر جهود وخبرات العاملين بالأفران العالية، مع قراءات ودلالات وتسجيلات أجهزة القياس والتحكم التي سبق الحديث عنها، في تسيير دفعة العمل . وهما رغم أهميتها القصوى، لا يعادلان ما يمكن الحصول عليه من مؤشرات عن طريق مراقبة الحديد والخبث الناتجين، وذلك لأنها يمثلان نهاية العمليات والتفاعلات التي تمت بالفرن .

وفيما يلي استعراض سريع لمدى إمكانية مراقبة تشغيل الأفران عن طريق هذين المنتجين، بالإضافة إلى بعض المشاهدات الأخرى .

(أ) مراقبة عمليات الفرن عن طريق الخبث الناتج :

بالمراقبة الدائمة المتعاقبة لحالة الخبث الذي يتم الحصول عليه، سواء من فتحة الخبث العليا، أو مع صبات الفرن، يمكن الحكم على حالة التشغيل، وما ينتظر حدوثه خلال الساعات القادمة . ولهذا تؤخذ دواما، في أثناء الصبات وعن طريق العاملين، عينات باستخدام « قضيب العينة » المثني بشكل زاوية قائمة، أنظر الشكل (٤٠) . ويعطى قوام وشكل الخبث على قضيب العينة، العين الخبيرة، وسيلة للحكم عن حالة الفرن، ودرجة الحرارة السائدة بمناطقه، وقاعدية الخبث، وهل الخبث قاعدي ويسمى « خبث قصير » وهو الذي ترفع فيه نسبة الجير والماغنيسيا عن نسبة المكونات الحمضية وهي السيليكا والألومينا، أهو « خبث حامضي »، وهو ما يحوى معكوس هذه النسب ويسمى « الخبث الطويل » .

والخبث الحامضي ينساب بسهولة في مجاريه دواما، حتى لو كانت درجة حرارته منخفضة . وعند غمس قضيب أخذ العينة في مثل هذا الخبث وتركه ليبرد، يوجد الخبث متماسكا بشكل أملس على السطح، وكثيرا ما تنساب منه شعيرات طويلة دقيقة، تزداد عددا وطولا بازدياد نسبة السيليكا في الخبث . ولهذا الخبث قوام زجاجي، ويتلون تبعا لدرجة حرارته، بألوان تتراوح ما بين البني الفاتح، والأخضر والرصاصي الفاتح، والبني الغامق، والأسود، كلما انخفضت درجة حرارته . وعليه فلو كان سطح العينة لامعا داكن اللون، ولا تخرج منه هذا الشعيرات الدقيقة، قيل إن قاعدية الخبث ملائمة، أما درجه حرارته فأقل من المطلوب . وكذا إذا كانت عينة الخبث على القضيب بها فجوات صغيرة ولونها فاتحا، قيل إن قاعدية الخبث ملائمة، وكذا درجة حرارة الفرن .

وهكذا يمكن بالربط بين المشاهدات وتحليلها، الحكم على حالة الفرن، وظروف التشغيل، ونوعية المعدن المنتظر الحصول عليه. ويمكن رفع درجة حرارة الخبث، برفع درجة حرارة الهواء اللافح، أو بإضافة وقود في حالات البرودة الشديدة. كما تدل برودة الخبث المفاجئة على احتمال حدوث عطب ببعض معدات التبريد المستخدمة بالفرن، مثل مبردات ودنات النفخ، أو مبردات جلب الخبث، أو الجلب ذاتها، حيث أن كمية الحرارة اللازمة لتحلل الماء في هذه الحالة تكون كبيرة، بحيث أن الحرارة الفائضة في بودقة صهر الفرن، تصبح غير كافية، لمجابهة احتياجات الخبث لرفع حرارته.

أما الخبث القاعدي أو المسمى بالخبث القصير، فيكون حثث السير في بحاريه، خاصة في حالة برودته، فيتجمد بسرعة، ويتراكم بها، مسببا الكثير من المضايقات والمحوادث، ويظهر هذا الخبث بشكل غليظ غير لامع ومتراكم، على قضيب العينة. وفي هذه الحالة، يصعب إزالته من فوق القضيب، ومقطعه في هذه الحالة يحوى بلورات كبيرة.

ويتدرج لون هذا النوع من الخبث من اللون الأصفر الفاتح، إلى الغامق، إلى اللون الأسود، كلما انخفضت درجة حرارته. وفي خلال سريان الخبث القاعدي ذي الحرارة المرتفعة، يكون فورا، مصحوبا برائحة خانقة تسبب الكحة - غاز ثاني أكسيد الكبريت - كما يظهر على سطح الخبث هب أبيض.

وبالإضافة إلى إمكانية الحكم من خلال نوع ولون وكيفية سريان الخبث بالمجاري على ظروف التشغيل، فإن كمية الخبث المنتج أيضا مقارنا بالمفروض حسابيا الحصول عليه مع كل صبة، تعطى العاملين فرص الحكم على مدى فراغ الفرن خلال الصبة، وعن المنتظر في الصبات التالية.

ويعطى الخبث الناتج من فتحة الخبث، مقياسا لمستوى الحديد بالفرن، فإذا لازم خروج الخبث، خروج شرارات دالة على وجود المعدن به، دل ذلك على ارتفاع مستوى المعدن ببودقة الصهر، وضرورة اتخاذ اللازم لصب الفرن مباشرة. وفي هذه الحالة يجب إغلاق فتحة الخبث مباشرة. ويقال أحيانا إن الخبث «غير نقي»، وذلك عند ملاحظة أن الخبث الناتج - وعادة من فتحة الخبث العليا - يحوى نسبة من المعدن تظهر أولا في صورة شرارات متناثرة عند فتحة الخبث، ثم تظهر على سيخ الصبة في شكل حبيبات سوداء اللون متناثرة في الخبث، هي في الواقع أكسيد الحديدوز، ويكون لون الخبث في هذه الحالة داكنا يتدرج إلى اللون الأسود، بزيادة الأكسيد به. ويدل كل ذلك على عدم كفاءة الحرارة

بيودة الصهر. وإذا حدث ذلك فجأة، وبدون مقدمات، دل ذلك على حدوث عطب مفاجئ، بإحدى المبردات، وبالتالي تسرب الماء إلى الفرن، وضرورة اتخاذ التدابير اللازمة لتغير الجزء المعطوب وبسرعة.

وعموما يذكر العاملون بالأفران في بلاد العالم أجمع، مثلهم الذي يقول ما معناه، « إن على العاملين بالأفران، العناية بالخبث وتكوينه ومواصفاته، الخ. حيث أن الحديد سوف يعنى بنفسه، ولن يحتاج إلى عنايتهم حينئذ». (ب) مراقبة الفرن عن طريق الحديد الناتج:

تعتمد نسب وجود السيليكون، والمنجنيز، والكبريت في الحديد الزهر، إلى حد كبير على درجة الحرارة بالفرن، وكذا على خواص الخبث المنتج. هذا بالإضافة إلى نسب وجودها في الشحنة الأصلية للفرن. وعليه، فبمتابعة تحليل الحديد الزهر المنتج، يمكن الحكم على حالة الفرن عامة، ودرجة الحرارة بصفة خاصة. وكذا الحكم على مدى مطابقة الخبث وخواصه. فثلا، إذا ظهر بمقطع عينة من حديد توماس، سطح فضي اللون، يحوى نقاطا لامعة متناسقة التوزيع، كان ذلك دليلا على أن درجة حرارة وقاعدية الخبث ملائمان تماما لمتطلبات التشغيل. وإذا كان سطح العينة الملامس لسطح قالب العينة أملسا غير حاو لأى نتوءات به، كان ذلك دليلا على انخفاض نسبة الكبريت في المعدن، وبالتالي مناسبة قاعدية الخبث. أما إذا ظهرت بمقطع العينة زيادة في الأسطح اللامعة، وعدم تناسق في توزيعها، كان ذلك دليلا على زيادة نسبة المنجنيز في المعدن، وبالتالي ارتفاع درجة حرارة الفرن، وقاعدية الخبث عن المطلوب، الأمر الذى يساعد على سرعة اختزال أكاسيد المنجنيز، وعلى زيادة ذوبان المنجنيز في المعدن.

أما إذا ظهرت بمقطع العينة نقاط رمادية اللون، أو سوداء، تغطى على المقطع كله، كان ذلك دليلا على ارتفاع كبير في درجة الحرارة، أو انخفاض قاعدية الخبث المستعمل. ذلك أن هذا المقطع الرمادى الأسود اللون، دليل على زيادة نسبة السيليكون بالمعدن، والذى تزداد نسبته تحت الظروف المذكورة. وبذوبان هذا السيليكون في الحديد، وعند تبريد العينة في قالبها، يتسبب السيليكون في انفصال كربون الحديد الزهر على هيئة جرافيت، يتسبب في إعطاء المعدن هذا اللون الأسود أو الرمادى. وعليه فباستخدام قاعدية مناسبة للخبث، وبرفع درجة الحرارة بالفرن، وبزيادة كمية الكوك المخصصة للتسخين، يمكن الحصول على الفيروسيلىكون أو الحديد المصبوب، اللذين يحويان نسبة عالية من السيليكون.

وإذا ظهرت على سطح العينة الملامس للقالب نتوءات أو فجوات ، كان ذلك دليلا على ارتفاع نسبة الكبريت بالمعدن ، ذلك أن الكبريت عند وجوده بنسبة عالية بالحديد ، يتحول جزء منه إلى الحالة الغازية ، مكونا فقاعات على سطح تلامس العينة والقالب ، وهذه تفتح خلال فترة التبريد ، مكونة هذه النتوءات أو الفجوات . وتعتبر زيادة الكبريت عادة ، مقياسا لعدم مناسبة قاعدية الخبث المستخدم ، أو لانخفاض درجة حرارة الفرن .

أما إذا كان مقطع العينة مطفيا دون أى لمعان فيه ، كان ذلك دليلا على انخفاض كبير بدرجة حرارة الفرن ، مما يستدعى سرعة اتخاذ إجراءات التغلب على هذه الحالة من إضافة للكوك ، أو رفع لدرجة حرارة الهواء اللافح ، أو خفض لمعدل النفخ ، الخ .

وتؤخذ عينة الحديد بواسطة ملعقة خاصة من الصلب أو الحديد الهياتيتي ، انظر الشكل ٨١ ، وذلك بغمس طرفها في المعدن المناسب في المجارى لتتلىء به ، ثم تصب في قالب العينة المصنوع من الحديد الزهر أو الصلب ، حيث تترك لتبرد . ولما كانت تحاليل المعدن تختلف من صبة لأخرى ، بل وفي خلال الصبة الواحدة ، لذا تجمع العينات جميعها ، ليختار منها ملاحظ الفرن العينة الممثلة التي ترسل للتحليل الكيميائي .

وهو في خلال تتبعه للعينات المأخوذة ، يتمكن من الحكم على حالة الفرن عامة ، ويقارن بين أول الصبة ونهايتها ، وبالتالي تناح له فرصة للحكم الدقيق ، وبخبرته يمكنه اتخاذ اللازم من إجراءات ، للمحافظة على جودة المعدن ومطابقته للمواصفات المطلوبة .

ومما يتقدم يتضح مدى ما تقدمه عينات الخبث والحديد من إمكانيات للحكم على جودة المعدن الناتج أولا ، وعلى حالة الفرن ثانيا .

(ج) مراقبة الفرن عن طريق بعض المشاهدات الأخرى :

مما هو جدير بالذكر ، أن كل ماذكر أنفا ، ليس هو الطريق الوحيد للتعرف على حالة الفرن ، فهناك العديد من أجهزة القياس وشواهد التشغيل ، التي ذكر بعضها من قبل ، ونتعرض للباقي في الحديث القادم وهي تسهم في إعطاء الصورة الواضحة وتكمل مستلزمات الرقابة . من هذه الشواهد مثلا ، مراقبة سير المعدن في المجارى ، فإذا كان سطح المعدن في مجاريه مطفيا مصحوبا بتناثر ذرات لامعة ، كان ذلك دليلا على انخفاض درجة حرارة المعدن والفرن ، مما أدى إلى انخفاض نسبة السيليكون بالمعدن ، وفي هذه الحالة ، تتكون على سطح المجارى بقايا من المعدن ، ويكون سيره في المجارى بطيئا ، ويسحب معه رمل المسابك المبطن للمجارى ، وعند نهاية الصبة تتخلف كريات كبيرة من الحديد بالمجارى يطلق عليها اسم

«تماسيح». أما إذا قلت الذرات اللامعة المتناثرة ، كان ذلك دليلا على ملائمة درجة حرارة الفرن ، وارتفاع درجة حرارة المعدن ، وبالتالي تختفي كل الظواهر المذكورة آنفا ، وتتخلف بالمجارى فى نهاية الصبة ، كميات محدودة من التماسيح .

ويتيح لون اللهب الخارج من فتحة الحديد عند نهاية الصبات ، فرصة للعاملين بالأفران للحكم على درجة حرارة الفرن . فإذا كان لون اللهب داكنا مصحوبا بدخان كثيف ، كان ذلك دليلا على انخفاض درجة حرارة بودقة الصهر . أما إذا كان لون اللهب فاتحا ومصحوبا بقليل من الدخان الفاتح ، كان ذلك دليلا على ملائمة درجة الحرارة بالفرن .

متاعب التشغيل بالأفران العالية

يتعرض تشغيل الأفران العالية ، للعديد من المتاعب التى تتفاوت فى مدى تأثيرها الضار على رتابة وانتظام التشغيل ، والتى تؤدى الى توقف العمل بالفرن نهائيا . ونظرا لطبيعة عمليات الأفران العالية ، بالإضافة إلى اختلاف طبيعة الفرد ، ومدى تجاوبه وظروف التشغيل المحيطة ، فإن هذه المتاعب تتعدد وتباين ، ويطول الحديث عنها . ولهذا فسنقتصر العرض فيما هو آت ، على تلك المتاعب ذات الأثر الأكبر خطورة على سلامة التشغيل ، وعلى المعدات .

١ - برودة الفرن عامة - تجمد محتويات بودقة الصهر :

تتعدد وتختلف الأسباب التى تسبب هذه الظاهرة ، والتى تنأتى من اختلال الميزان الحرارى بالفرن ، بمعنى عدم توافر كميات الحرارة المقابلة لاحتياجات مجموعة التفاعلات التى تتم بها . وبالتالي توصف هذه المسببات ، بأنها أى مؤثر يؤدى إلى عدم توفير الحرارة اللازمة لإتمام هذه التفاعلات ، وصهر المنتجات ، وجعلها فى حالة السيولة التى تمكن من إخراجها من فتحات الحديد أو الخبث . وعليه يتضح أن مدى تعرض الأفران صغيرة الحجم ذات الكمية المحدودة من الطاقة الحرارية المخزنة لهذا النوع من متاعب التشغيل ، أكثر من مدى تعرض الأفران الكبيرة ذات الطاقات الهائلة من الحرارة المخزنة .

وهناك العديد من المشاهدات التى يمكن بها التعرف على مثل هذا النوع من متاعب التشغيل ، والتى يمكن تلخيصها كالآتى :

(أ) بمراقبة الفرن من خلال نظارات الودنات ، يلاحظ أن المنطقة عند نهاية الودنة ، تفقد لمعانها الصافي الوضاء ، الذى يتحول إلى لون معتم يتخلله سقوط أجسام داكنة ظلزجة ، تتراكم على مقدمة الودنة ، وتغلف محيطها الخارجى ، وربما ينساب قليل من الخبث من فتحة الودنة الى ماسورة النفخ .

(ب) عند فتحة الخبث ، يخرج الخبث ثقيلًا فى حركته ، داكن اللون ، تنطير منه أجسام لامعة ، دلالة على وجود الحديد به بكمية أكبر من المعدل . ويكون ذلك اللون الرمادى الداكن ، وأحيانًا الأسود ، دليلًا على زيادة نسبة أكسيد الحديدوز الذى لم يتم اختزاله ، لعدم توافر الحرارة اللازمة ، وحينئذ يجب فتح فتحة الحديد مباشرة لصب ما ببودقة الصهر من الخبث والمعدن قبل استفحال الأمر .

(ج) يلاحظ أن الحديد الخارج من الصبة ، يسير بصعوبة فى المجارى الخاصة به ، كما يتجمد بسرعة على جوانبها ، ذلك أن تزايد كمية أكسيد الحديدوز ، يؤدى إلى انخفاض نسبة الكربون والسيليكون والمنجنيز بالحديد نتيجة التفاعل بينهما ، التى تؤدى إلى زيادة نسبة نقاء المعدن ، وبالتالي ارتفاع درجة انصهاره وزيادة نسبة الكبريت به .

(د) يتزايد عدد الشحنات لفترة زمنية معينة عن المعدل العادى .

(هـ) ينخفض ضغط الغاز وضغط الهواء اللاقع عن معدلهما . وإذا استعرضنا الأسباب التى تؤدى إلى ذلك ، فيمكن تحديدها فيما يلى :

(أ) سوء توزيع المشحونات على مقطع الفرن لسبب أو لآخر ، مثل خلل بمعدات الشحن ، أو عدم تجانس الشحنات ، الخ .

(ب) إضافة شحنات من الخامات دون إضافة الكوك المقابل لها ، بسبب أخطاء العاملين بالشحن .

(ج) إضافة الشحنات بسرعة .

(د) انخفاض جودة الكوك وخواصه ، أو اختلاف خواص أو تحاليل الإضافات .

(هـ) سقوط رواسب سبق تكوينها .

(و) انخفاض درجة حرارة الهواء اللاقع عن المعدل ولفترة طويلة .

(ز) تسرب المياه لداخل الفرن من معدات التبريد .

وفى حالات البرودة الطارئة ، يمكن بزيادة درجة حرارة الهواء اللاقع ، مع خفض معدل

النفخ ، معالجة هذا التقص الطارىء ، وإعادة الفرن إلى التشغيل العادى .
أما إذا تفاقم الموقف ، ولم تجد وسائل العلاج السريع ، بحيث تماسك المعدن والخبث الموجودان ببودقة الصهر ، ولم يتمكن من الحصول عليها من فتحة الحديد ، فهذا ما يسمى بظاهرة « تجمد بودقة الصهر » ، وهى من أخطر مشاكل الأفران العالية وأصعبها ، وقد تؤدى الى توقف الفرن تماما عن العمل ، إذ يسيب عدم إمكانية الحصول على الخبث والمعدن من الفرن عندئذ ، ارتفاع مستواهما بداخله ، حتى ييلغا مستوى الودنات ، ويفلقا مداخل الهواء اللافع ، وبالتالي يتوقف الفرن نهائيا عن التشغيل .

ويتلخص علاج هذا الموقف ، فى البحث عن وسيلة لرفع الطاقة الحرارية ببودقة الصهر ، وذلك عن طريق توصيل شحنات إضافية من الكوك للمنطقة . هذا بالإضافة إلى ضرورة تخفيض الحمل الحرارى ببودقة الصهر ، وذلك بزيادة سيولة الخبث ، وبالتالي الإقلال من الحرارة اللازمة لذلك . ويتبع لتحقيق ذلك العديد من الطرق حسب الخبرات الخاصة ، ومنها الأسلوب الذى أتبع بمصانع الحديد والصلب بجلوان ، والذى يتلخص فيما يلى :

(أ) التعرف تماما على سبب العطب ، والقضاء عليه تماما ، وخاصة فى حالة عطب المردات ، ثم التأكد من سلامة كل معدات التبريد الأخرى .

(ب) خلع الودنتين على جانبي فتحة الحديد وتنظيفهما ، ورفع كل الخبث والحديد من أمامهما ، لعمل اتصال صناعى بينهما وبين فتحة الحديد .

(ج) العمل من خلال فتحة الحديد ، على إزالة ما أمامهما من الخبث والمعدن المتجمدين ، وإزالة ما يتم صهره بالأكسجين من خلال الودنتين المذكورتين ، والمساعدة فى خلق الاتصال بين الودنتين وفتحة الحديد .

(د) إعادة تشغيل الفرن ، بعد التأكد من وجود الاتصال بين الودنتين المذكورتين وبين فتحة الحديد ، بكمية محدودة من الهواء اللافع خلال الودنتين ، مع استمرار مراقبتها ، وتنظيفهما ، مما يستدعى عادة التشغيل والتوقف لمرات عديدة ، حتى يتم التخلص مما يعلوها من الخبث والمعدن المتجمدين .

(هـ) مع بدء التشغيل ، تضاف كميات إضافية من الكوك بأعلى الفرن ، كما تضاف كميات أخرى قبل التشغيل وفى الحيز أمام الودنات التى تم تنظيفها ، كذلك تشحن الإضافات التى تسبب سهولة إسالة الخبث كالفلورسبار والماغزيا . ويتبع نظام الشحنات الخفيفة ذات القاعدة المنخفضة . ويصبح بعد ذلك من أهم واجبات

العاملين ، توصيل هذا الكوك المضاف من أعلى الفرن ، إلى بودقة الصهر بأسرع ما يكون ، ويساعد تشغيل الفرن خلال الودنتين المذكورتين في ذلك ، حيث يصبح تشغيل الفرن من جانب واحد منه ، وبالتالي اختصار الحجم العامل ، ومن ثم سرعة الشحنات المضافة من أعلى الفرن ووصولها إلى بودقة الصهر .

(و) يستدعى هذا النوع من التشغيل ، ضرورة إحكام إغلاق باقى الودنات ، وخاصة البعيدة عن فتحة الحديد ، حتى لا يتسبب ذلك في تكوين خبت وحديد في مكان ليس له اتصال بفتحة الفرن ، وبالتالي زيادة متاعب التشغيل .

(ز) تزداد درجة حرارة الهواء اللافح عن المعدل ، ولكن بحذر شديد ، بحيث لا تتسبب زيادتها في تعليق الشحنة بداخل الفرن ، وبالتالي إضافة متاعب جديدة للتشغيل ، الأمر الذى يجب تحاشيه في هذا الوقت .

(ح) يستمر العمل دواما من خلال فتحة الحديد في إزالة كل ما يتم انصهاره من خبت ومعدن ، طوال عملية النفخ من خلال الودنتين ، ويستمر ذلك حتى يبدأ اللهب في الخروج منها وبشدة ، فتغلق مؤقتا ليعاد فتحها بعد ساعة على الأكثر ، لسحب ما يتم صهره من المعدن والخبت أولا بأول . وهكذا ، حتى تبدأ كميات الحديد والخبت المنتجين في التزايد . ثم يبدأ بعد ذلك في فتح الودنات من على جانبي فتحة الحديد تباعا وبالترتيب ، مع زيادة كمية الهواء تدريجا ، وزيادة القاعدية التى سبق خفضها مع بدء الشحن للشحنات الخاصة للتغلب على الموقف . ويستمر هذا العمل والرقابة الدقيقة حتى عودة الفرن لحالته الطبيعية . ويستغرق هذا العمل بالأفران ذات الحجم ٤٩٩ مترا مكعبا ما بين ٦ و ٩ أيام .

والنفخ بمعدلات منخفضة ، إجراء يلزم اتباعه في هذه الحالة كضرورة حتمية ، وذلك لأسباب عديدة أهمها :

- ١ - إتاحة الفرصة لتجهيز أفضل للشحنات الهابطة ببطء في هذه الحالة .
- ٢ - ضمان استمرار المحافظة على درجة الحرارة للهواء اللافح العالية والمطلوبة لفترات زمنية أطول .
- ٣ - إتاحة الوقت للتخلص من مخلفات الصبات السابقة ، والتجهيز للصبة اللاحقة ، قبل أن يصل مستوى المنصهر من المعدن والخبت لمستوى الودنات ويغلقها - خاصة وأن الحيز المتاح في هذه الحالة يكون صغيرا - وبالتالي يوقف استمرار النفخ والتشغيل ، وهو

الأمر الحيوى الضرورى استمراره فى هذه المرحلة .

٤ - تخفيض الحمل الحرارى لبودقة الصهر، بالإقلال من تكون أكسيد المعدن أمام الودنات ، والذي يحتاج بعدئذ إلى حرارة عالية ، لإعادة اختزاله اختزالا مباشرا ببودقة الصهر .

وكما سبق ذكره ، تختلف طريقة معالجة العطب باختلاف الخبرات الخاصة والإمكانات ، وقد يستلزم الأمر إغلاق الودنات جميعها ، ماعدا إحداها ، تستخدم كفتحة للحديد والخبث ، بينما يزود الفرن عندئذ بمجموعة ودنات نفخ ، تتركب بمستوى أعلى من مستوى الودنات الأصلية . وبالنفخ من خلالها ، وسحب المنصهر من فتحة الودنة ، يمكن تحقيق الهدف الرئيسى ، وهو توصيل الكوك إلى بودقة الصهر ، وبالتالي زيادة الطاقة الحرارية بها . وبتحقيق ذلك ، يعاد التشغيل بعدئذ من الودنات الأصلية ، وتغلق الودنات الإضافية نهائيا .

(ب) تعليق الشحنة بداخل الفرن :

قد يحدث أحيانا أن يظل مستوى شحنة الفرن ثابتا لفترة زمنية أكثر من المعتاد . دليلا على عدم هبوط الشحنة داخل الفرن ، وتسمى هذه الظاهرة « تعليق شحنة الفرن » . وقد يمكن التغلب على هذه الظاهرة بسهولة وبسرعة ، وقد يستلزم ذلك العديد من الساعات . وتعليق شحنة الفرن لا يحدث فجأة ، ولكن تسبقه مقدمات ومشاهدات تدل على اتجاه الشحنة إلى التعليق . فثلا يبدأ هبوط الشحنة فى عدم الانتظام ، ويلازم ذلك انزلاقات للشحنة بداخل الفرن . ويمكن التعرف على ذلك ، بمراقبة حركة المحبسات ، هذا بالإضافة إلى حدوث ذبذبة فى ضغط الغاز ، وضغط الهواء اللافح ، الأشكال .

وحق هذه المرحلة ، يمكن وبسهولة معالجة الموقف ، وإعادة التشغيل إلى الانتظام ، أما إذا لم ينتبه العاملون إلى ذلك فى حينه ، ولم تتخذ إجراءات التغلب عليه ، فتبدأ الشحنة فى الامتناع عن الهبوط نهائيا . ويلاحظ ثبات مستوى الشحنة بداخل الفرن ، بالإضافة إلى زيادة ضغط الهواء اللافح ، وانخفاض ضغط الغاز ، مع ارتفاع درجة حرارته . وبالنظر خلال منظار الودنات ، يلاحظ ثبات الكوك داخل الفرن ، وامتناع حركته ، كما يمكن مشاهدة بعض قطرات الخبث والمعدن ، تتساقط ببطء على سطح الكوك . وفى حالة تعليق الشحنة ، يسمع بوضوح ، الصوت التاجم عن تهريب الهواء اللافح من توصيلات الكيعان وماسورة النفخ ، وتبدأ كمية الهواء الداخلة إلى الفرن ، والمسجلة بجهاز الكية ، فى الانخفاض تدريجيا ، كدليل على تعليق الشحنة بداخل الفرن .

وتتعدد المسببات التي تؤدي الى حدوث هذا النوع من متاعب التشغيل ، وقد تتكاثف فيما بينها . ونذكر فيما يلي أهمها :

١ - تماسك الشحنات :

تعرض مشحونات الفرن العالى خلال هبوطها بالفرن - كما ذكر من قبل - للعديد من التغيرات الفيزيائية والكيميائية ، التي تؤثر في خواصها الأصلية ، وتؤدي إلى زيادة حجمها وتماسكها فيما بينها . هذا ، بالإضافة إلى زيادة مساميتها ، نتيجة تخلصها من المواد المتطايرة بها ، وبالتالي إتاحة الفرصة لترسيب الكربون ناتج التفاعل

غاز أول أكسيد الكربون — غاز ثاني أكسيد الكربون + الكربون



في هذه المسام ، وما يسببه بالتالي من زيادة لأحجام المشحونات . وحيث أن درجة حرارة هذه المشحونات تزايد باستمرار هبوطها ، فإن لداتها تزايد أيضا ، ومع زيادة أحجامها وضغطها بعضها على بعض ، تماسك فيما بينها . كما تماسك المشحونات بنفس الأسلوب مع جدار الفرن ، مكونة جسما صلبا ، يتحمل وزن عامود الشحنة أعلاه ، ويمنع هبوطه ، وبالتالي تتعلق الشحنة بداخل الفرن .

٢ - وجود رواسب بالفرن العالى :

تتكون رواسب الفرن لسبب أو لآخر - كما سيذكر فيما بعد - وهي بوضعها وطبيعتها تكوينها ، تكون قاعدة يمكن بسهولة ارتكاز شحنة الفرن عليها ، خاصة إذا ما تسببت هذه الرواسب في الإقلال من قطر مقطع الفرن ، وكونت فتحة قع تهبط منها الشحنات ، وسببت بذلك زيادة المقاومة لصعود عامود الغازات ، وبالتالي زيادة قدرته على حمل الشحنة ، وبالتالي تعليقها .

٣ - خفض مقطع منطقة احتراق الكوك :

ويسبب هذا زيادة المقاومة لهبوط الشحنة ، وبالتالي زيادة الاحتكاك بين المشحونات الهابطة والمشحونات الموجودة بهذا المكان من الفرن . هذا بالإضافة إلى تكديس المشحونات الهابطة ، وانخفاض مساميتها في المنطقة التي تعلو منطقة احتراق الكوك مباشرة ، الأمر الذي يسبب زيادة المقاومة لعمود الغازات الصاعدة ، وبالتالي زيادة ضغطها وقدرتها على حمل الشحنة ، ومن ثم مقاومة هبوطها . وفي العادة ، تتوقف مسامية الشحنة على مدى تجانس

أحجام مكوناتها ، ولهذا السبب ولغيره ، أصبحت عملية تجنيس المشحونات بالغة الأهمية .

٤ - طبيعة الخبث المتكون :

يحدث نتيجة ارتفاع درجة الحرارة بالفرن عامة لسبب أو لآخر ، أو بسبب تركيز استغلال درجة الحرارة ببودقة الصهر بالفرن بسبب زيادة الاختزال المباشر ، أن يتكون بالمخروط العلوى أو بالأسطوانة ، خبث متماسك لزج - خاصة في حالات التشغيل بقاعدية عالية - بتماسك وجوانب الفرن ، ويولد مقاومة عالية لمروور الغازات الصاعدة ، وبالتالي يزيد من قدرتها على التحمل ، ومقاومتها لهبوط الشحنة .

كما يحدث أحيانا تكون خبث يكتوى على نسبة عالية من أكسيد الحديد ، ويحدث ذلك نتيجة تجمع كمية من خام الحديد ، تعرضت من قبل إلى اختزال نسبي فقط ، نتيجة لانخفاض مساميتها ، وهبوطها لمنطقة الحرارة العالية (١٠٠٠°م) حيث تنصهر مكونة خبثا يكتوى نسبة عالية من أكسيد الحديدوز ، بل وأحيانا أكسيد الحديد المغناطيسى . وعندما يلتقى هذا الخبث مع الكوك المتوهج في المنطقة ، يبدأ كربون الكوك في اختزال الأكسيد اختزالا مباشرا ، مستهلكا كميات كبيرة من الحرارة ، ومسببا انخفاض درجة حرارة المنطقة ، ويلزم ذلك ، رفع درجة حرارة بدء سيولة الخبث الناتج الذى تخلص جزئيا من أكاسيد المعدن ، وبالتالي يوجد هذا الخبث في حالة لزجة متماسكة ، معترضا صعود الغازات ، ومسببا تعليق الشحنة .

٥ - الخواص الطبيعية والكيميائية للخامات المستخدمة وخاصة الصلابة والتماسك تحت درجات الحرارة العالية

هذا بالإضافة إلى قيمة درجة حرارة بدء انصهارها . ذلك أن تفكك الخامات بسبب مقاومتها للغازات الصاعدة . ويكون ذلك داعيا لتماسكها بعضها ببعض ، في مناطق الحرارة المنخفضة نسبيا ، وبالتالي تجمعها وصعوبة هبوطها وتعليقها .

٦ - مجموعة المؤثرات التى تتجمع وتؤدى إلى ارتفاع منطقة أو مستوى بدء تكوين الخبث . كيفية التغلب على تعليق شحنة الفرن :

مما سبق ذكره ، يتضح أن تعليق شحنة الفرن إنما يحدث نتيجة مجموعة عوامل تنجم وتسبب زيادة المقاومة لصعود الغازات الصاعدة ، وتعمل على منع هبوط عامود الشحنتات . وعليه ، فأى إجراء يؤدى إلى التخفيف ثم القضاء على هذه التجمعات ، يكون من شأنه

المساعدة على التغلب على هذا النوع من المتاعب . ويحوى ذلك عادة عن طريق ما يسمى « سحب الفرن » ، والذي يتلخص فى الإقلال من الغازات الصاعدة ، وبالتالي إقلال قدرتها على التحمل ، والذي يتم بفتح صمام الأمان على ماسورة الهواء الساخن الداخلة إلى الفرن فجأة وبسرعة . وعادة ما يؤدي هذا الإجراء إلى تكسر القشرة المتاسكة المغلفة لسطح الشحنة فى منطقة التعليق ، بسبب زيادة التحميل عليها من أعلى ، نتيجة وزن المشحونات التى تعلو المنطقة ، وبالتالي فك التعليق . ولكى يكون هذا الإجراء فعالا ، يجب أن يتم فجأة وبسرعة ، حتى يؤدي الغرض منه فى خلخلة منطقة التعليق . ولهذا وحتى لا يترتب على هذا الهبوط المفاجئ كمية الهواء اللافح أضرار بمنطقة المسخنات أو بنفاخات الهواء ، أو بشبكة الغازات ، يتم الاتصال بين ملاحظ الفرن والمسئولين بهذه المناطق ، لتنسيق العمل فيما بينهم . ولا يجب أن تخفض كمية الهواء اللافح عن الكمية المقابلة لضغط يعادل اراجوى ، حتى لا تتاح الفرصة للغازات بداخل الفرن ، للهروب من خلال توصيلات النفخ إلى مواسير الهواء الساخن ، تخاشيا لحدوث أى انفجارات بالآخيرة .

أما إذا لم يؤد هذا الإجراء إلى إزالة التعليق ، فيستمر النفخ مع تخفيض درجة حرارة الهواء اللافح ، وذلك حتى يتغير شكل منطقة الأكسدة أمام الودنات ، حيث أن ذلك يسبب زيادة تركيزها فى الاتجاه الأفقى ، وذلك بسبب ارتفاع مستوى منطقة درجات الحرارة العالية بالفرن إلى أعلى . وبالتالي التمكن من إسالة الخبث الذى يغطى سطح قطع الكوك ويربط بينهما ، ويسبب عدم هبوطها .

أما إذا لم تؤد كل المحاولات السابقة إلى النتيجة المطلوبة ، فتفتح فتحة الحديد وفتحة الخبث ، ثم يترك الفرن للنفخ من خلالها ، الأمر الذى يؤدي إلى احتراق الكوك الموجود بالمنطقة ، وبالتالي إفساح المكان للمشحونات الأخرى أعلاها للهبوط . كما يساعد الهواء المنفوخ ، والغازات المتولدة ، فى احتراق الكوك الموجود فى القبة الحاملة لعمود الشحنات . ونتيجة لهذا الاحتراق ، ترتفع درجة الحرارة بالقبة ، الأمر الذى يؤدي إلى سيولة الخبث الذى يسبب تماسكها ، وبالتالي إزالة التعليق . وقد يستغرق النفخ خلال فتح الحديد والخبث ساعات طويلة ، حتى يأتى بالنتيجة المطلوبة .

وكثيرا ما يتكرر حدوث التعليق بعد إزالته ، فواجب العاملين بالأفران ، يتطلب منهم حسن التصرف عقب التغلب على المشكلة . فثلا يجب أن ترفع كمية الهواء اللافح ، أو درجة حرارته إلى معدلها فى التشغيل العادى فجأة . كما يجب أن لا يملأ الفراغ الناجم أعلى

الفرن بشحنات متتالية وبسرعة، إلخ. ولكن يتم ذلك تدريجاً، وحسب ما تدل عليه أجهزة القياس والمتابعة للفرن، عن مدى استعادة الفرن لحالته العادية.

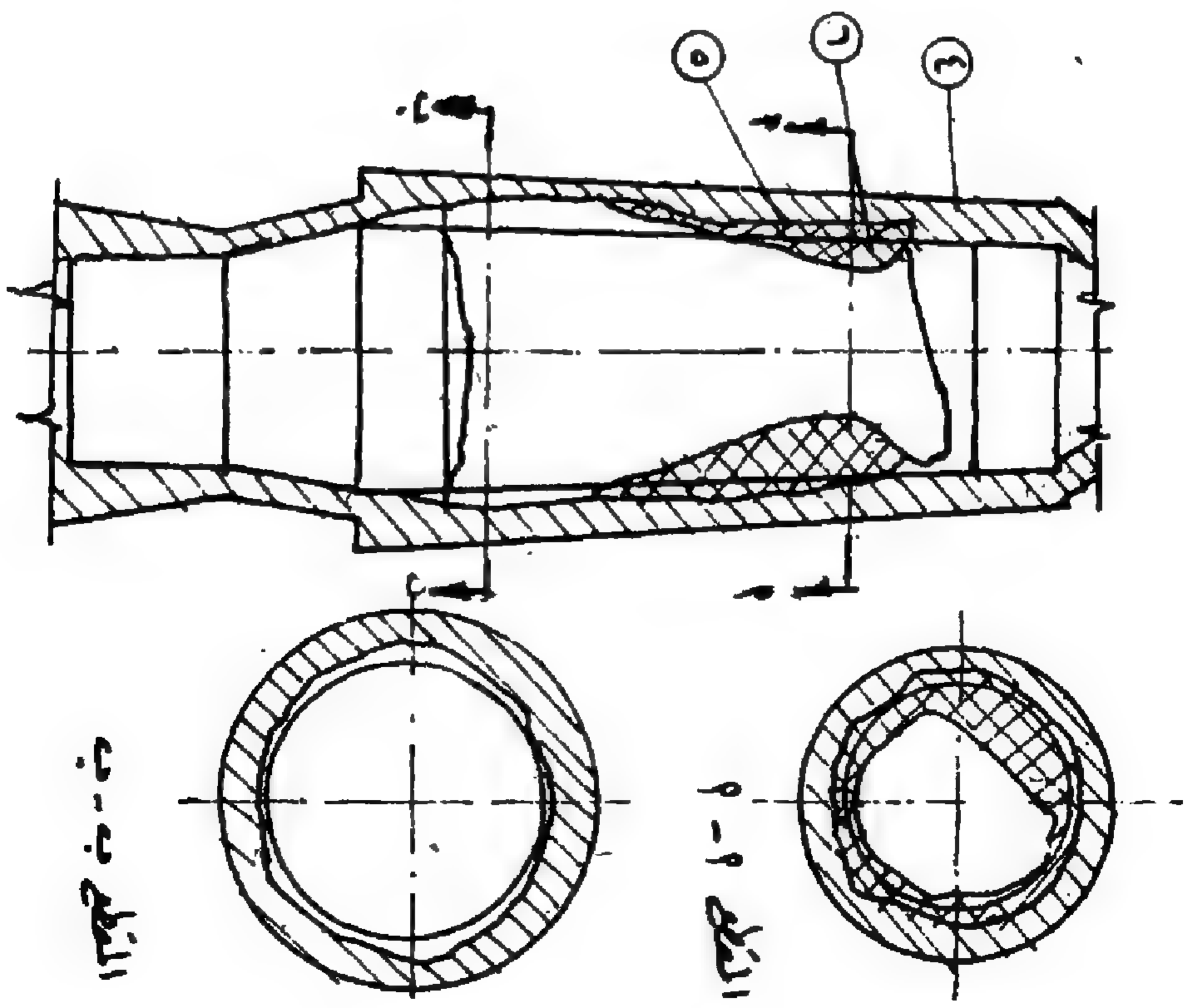
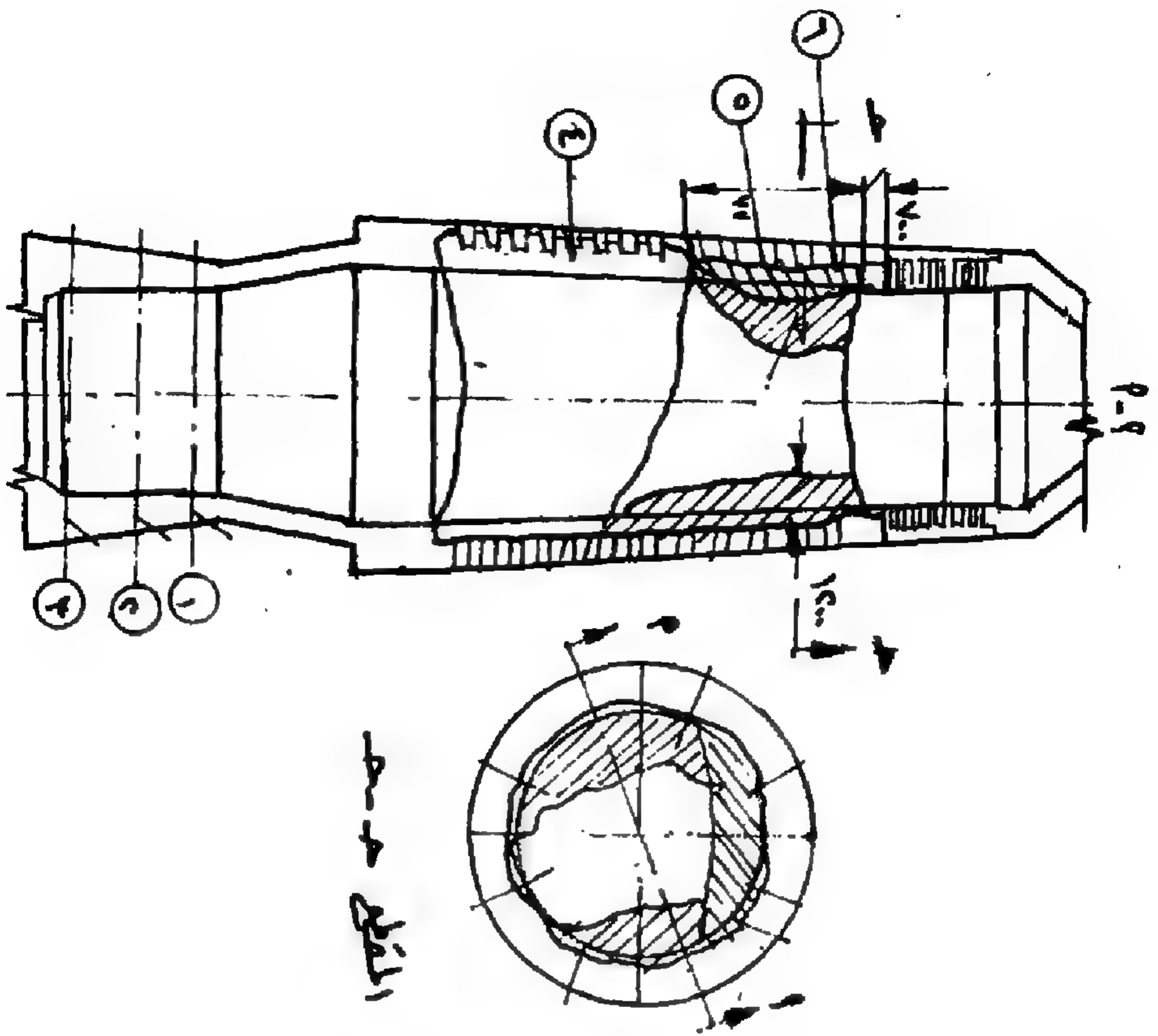
(ج) تكون الرواسب:

يحدث أن تتجمع المواد التي بدأ انصهارها ولم يكتمل تماماً بصورة متماسكة وقوية، على جدران الفرن وبمناطق مختلفة به، معترضة سير عامود الغازات الصاعد وعامود الشحنات الهابطة، وتسمى هذه «الرواسب». وقد توجد بالأسطوانة، أو بالجزء السفلي، أو بمنتصف المخروط العلوي، الشكل (٤٤)، وفي هذه الحالة تتماسك بقوة وشدة، بحيث لا يمكن إزالتها بالتغيير في تكنولوجيا التشغيل فقط.

وقد يتكون بعض منها بالمخروط السفلي، وخاصة عندما تحوى الشحنة الأصلية للفرن خامات سهلة الانصهار، تتمكن من الوصول إلى هذه المنطقة، حيث تبدأ في السيولة، لثمنص جزءاً كبيراً من الطاقة الحرارية من المنطقة، مكونة خبثاً يحوى نسبة عالية من أكاسيد الحديد، لم يتم اختزالها بعد، وهذه الأكاسيد تتعرض نسبياً إلى اختزال مباشر بفعل كربون الكوك الموجود بالمنطقة، مكوناً المعدن الذى يحوى نسباً بسيطة من الشوائب، وبالتالي ترتفع درجة حرارة بدء سيولته، فيتجمد بمجرد تكوينه، مساعداً في تقوية الرواسب المتكونة. وهذا النوع من الرواسب، يسهل التخلص منه، بتغيير في تكنولوجيا التشغيل، بما يقضى على أسباب تكوينه.

وجود الرواسب له أثر كبير في انتظام ورتابة التشغيل بالأفران العالية، لأنها تسبب تعليق شحنة الفرن، مع استهلاك المزيد من الكوك والوقود، وخفض الإنتاجية. وتسبب كذلك في زيادة كميات أتربة الغازات، وغيرها من المؤثرات التى تؤدي إلى عدم إمكانية السيطرة على الأفران، والتحكم في خواص المعدن المنتج.

وتتكون الرواسب بالأفران العالية نتيجة لعدم انتظام توزيع الغازات الصاعدة على مقطع الفرن، فعندما تتصاعد كميات كبيرة من هذه الغازات بسرعة عالية، ملاصقة لجدران الفرن، أو بالمنطقة القريبة منها، نتيجة لزيادة مسامية الشحنات بهذه المناطق، ينسب ذلك في ارتفاع درجة الحرارة في المستويات العليا عن القيمة العادية، مما يؤدي إلى انصهار بعض مكونات الشحنة قبل اختزالها. وعند زيادة المقاومة للغازات الصاعدة، نتيجة لذلك، وتغيير اتجاهها، تبدأ المكونات المنصهرة في التجمد، وتماسك مع مبانى بطانة الفرن، مكونة بذلك بؤرة لتكون الرواسب، يتجمع الكوك تحتها نتيجة إزاحة الخسار له. وعليه



شكل ٤٤ - رؤس سبب الفرن العالي بالمخروط العلوي

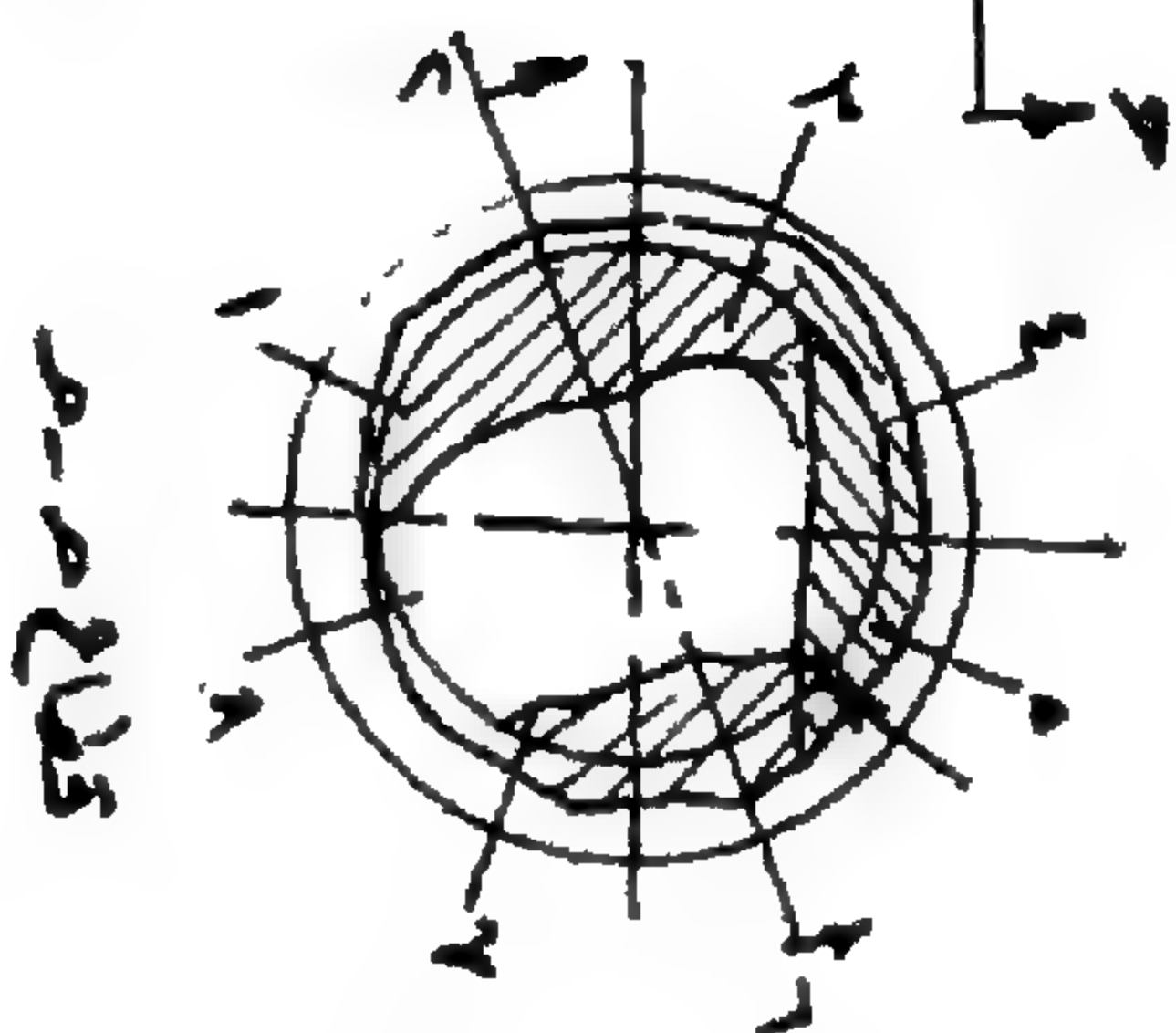
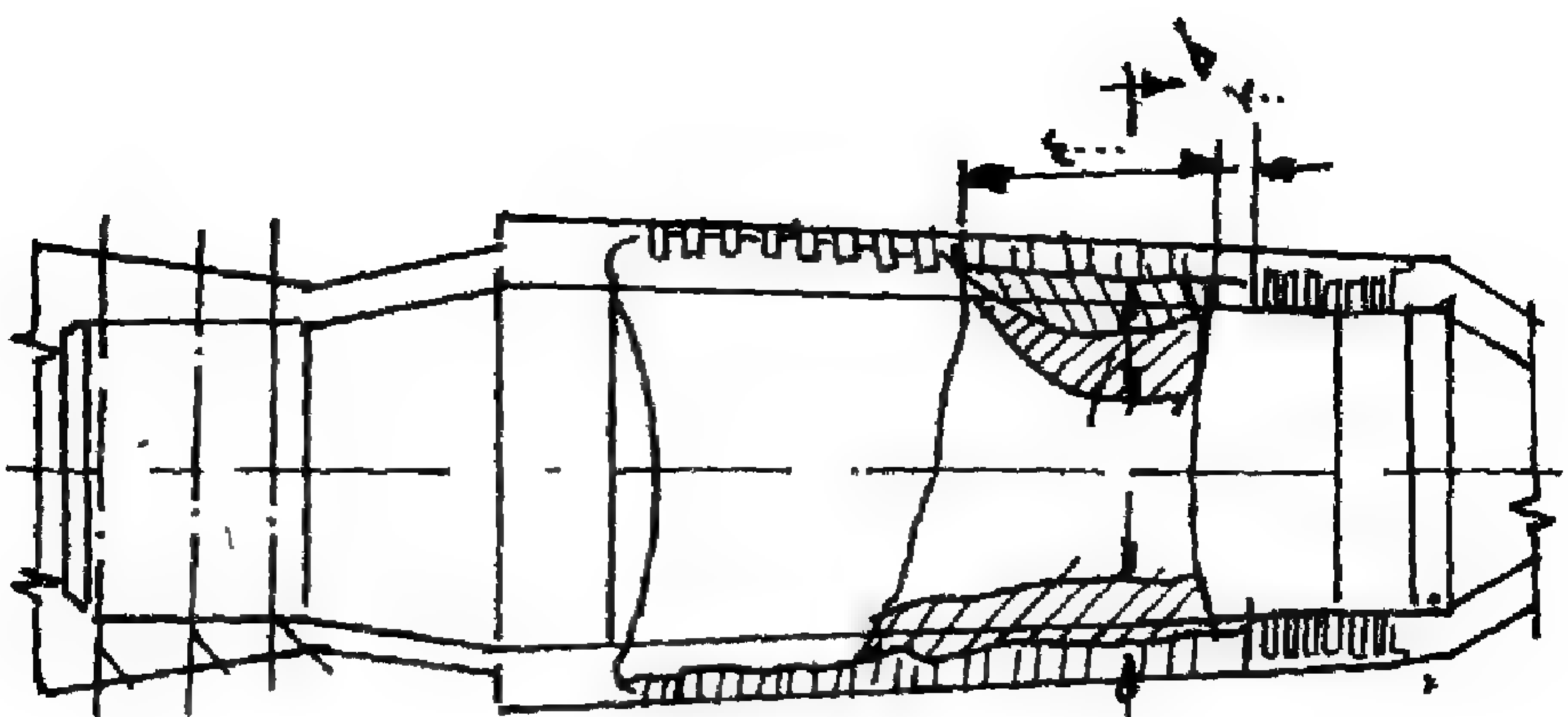
تزايد مسامية طبقات الشحنة تحت الرواسب ، وترتفع درجة الحرارة مرة أخرى ، لتؤدي من جديد إلى انصهار الخام قبل اختزاله في مستوى يعلو منطقة تكون الرواسب ، لينتج خبثا يحوى نسبة عالية من أكاسيد المعدن تتفاعل مع كربون الكوك ، وتختزل نسبيا لينتج المعدن بصورة قريبة من النقاء التام ، والذي يتجمد بسرعة نتيجة ذلك ، مكونا الطبقة الخارجية للرواسب ، والتي تسبب زيادة تماسكها وتحملها . وتكرر العملية ، ويزداد حجم الرواسب تباعا ، ويزداد أثرها السيء على التشغيل ، كما حدث بالفرن رقم (٢) بمصانع بالأورال بالاتحاد السوفيتي ، الشكل (٤٥) ، حيث أغلقت الرواسب أكثر من ثلث مقطع الفرن عند منتصف الظروف العلوى .

وبالإضافة إلى ذلك ، تسبب أبخرة القلويات ، وخاصة سيانيد البوتاسيوم وكلوريد الصوديوم في تكوين الرواسب ، حيث تتفاعل هذه الأبخرة مع أكاسيد الخام وكربون الكوك ، مولدة البوتاس ، الذى يتفاعل والطوب الحرارى المبطن للفرن ، مكونا نوعا من الخبث ينصهر عند درجات حرارة (٩٠٠ إلى ١٠٠٠ م°) . وترتبط بهذا الخبث اللزج المتاسك بعض أجزاء من مكونات الشحنة . ومع استمرار التشغيل ، وتفاعل القلويات مع أكاسيد الحديد الموجود بالشحنة ، وتولد المعدن منخفض الكربون ، يزداد معدل تكوين البوتاس ، ويتجدد تفاعله مع مكونات الشحنة ، مكونا خلطة متاسكة تتجمع عليها جزيئات أخرى مكونة الرواسب بعد ذلك . ولهذا يتميز هذا النوع من الرواسب ، بطبقات متتالية من المعدن والمواد الأخرى .

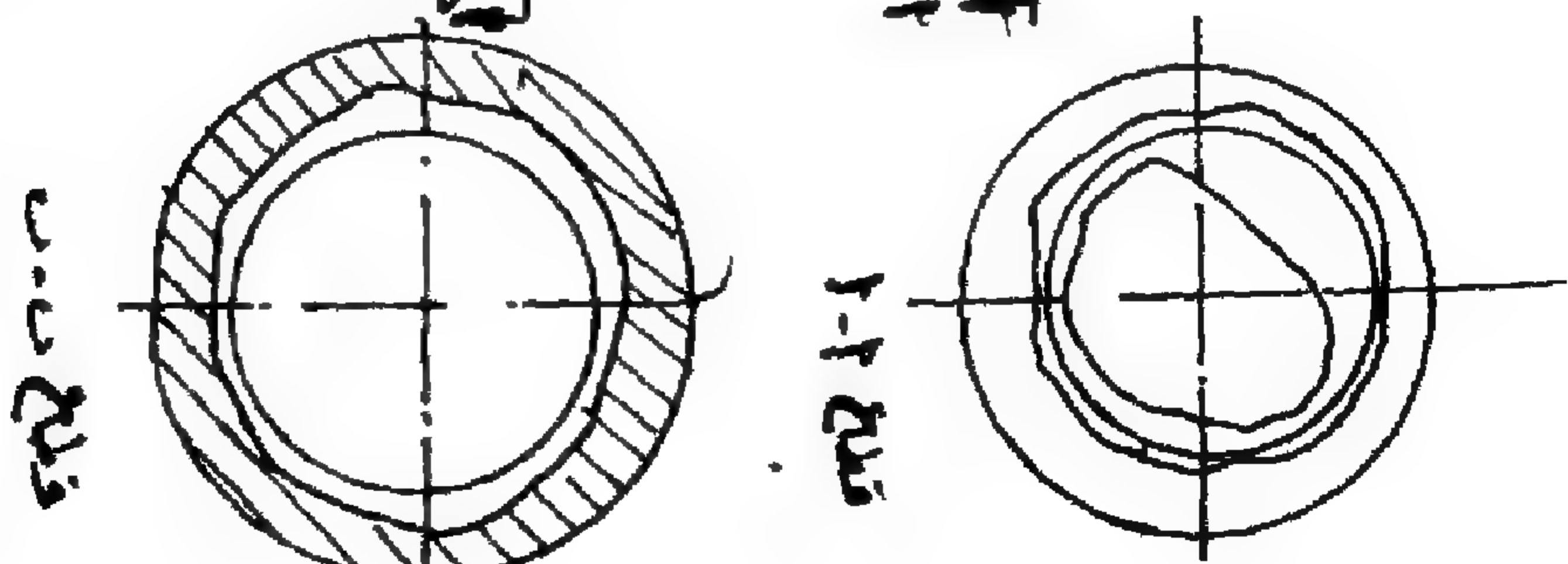
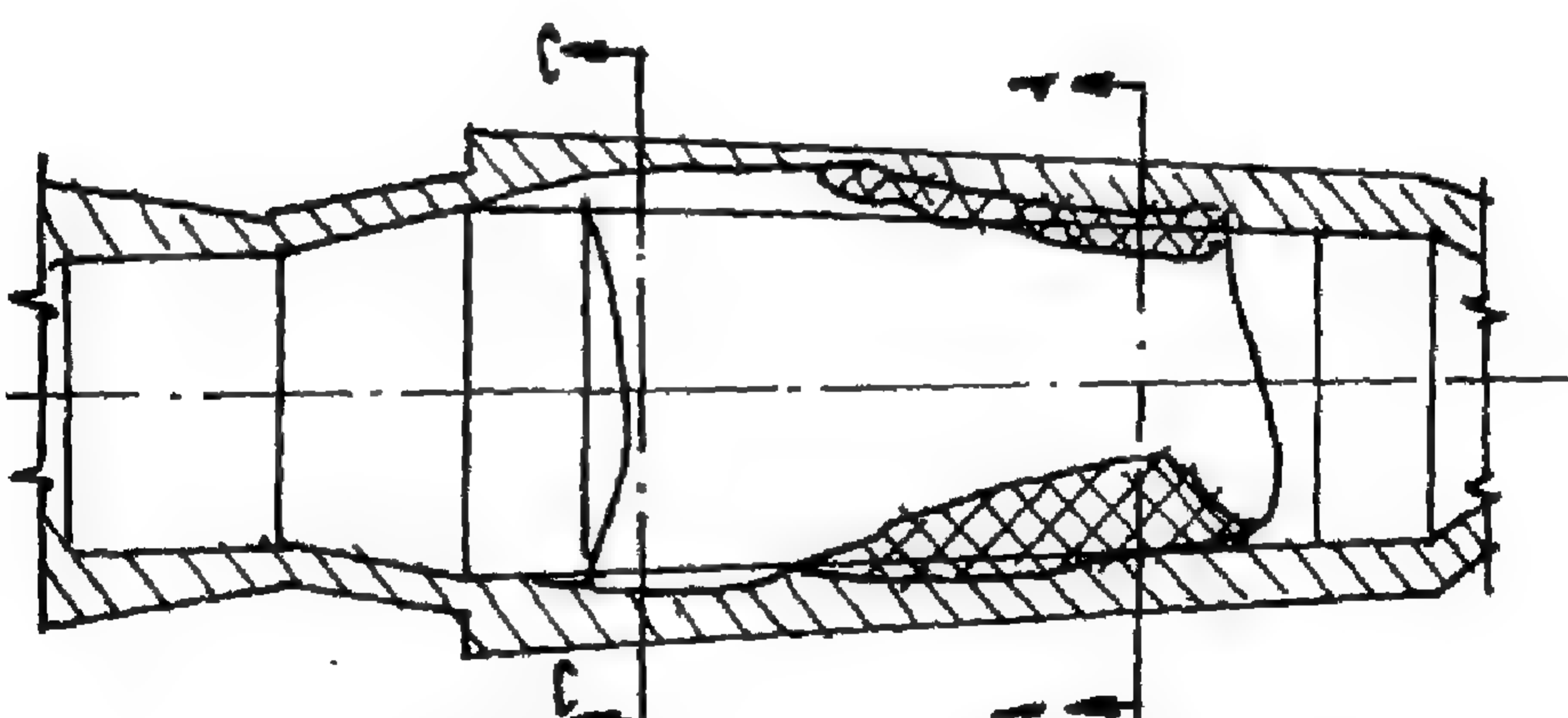
ويتغير شكل الرواسب المتكونة ، كما يتغير مكان وجودها ، وكما ذكر من قبل ، فقد يحدث أن تتكون الرواسب بشكل حلقى ملاصق لجدران الفرن عند مستوى معين ، أو أن تتكون في أحد جوانب الفرن فقط .

ويمكن معرفة بدء تكوين الرواسب قبل أن يستفحل تأثيرها السيء على التشغيل ، وذلك بمتابعة درجة حرارة صاج الفرن ، حيث أن المناطق التى تلامس هذه الرواسب ، بسبب عدم تعرضها لجو الفرن مباشرة ، تكون أبرد ملمسا من غيرها . وكذلك يمكن تحديد حجم الرواسب المتكونة ، بتتبع أبعادها الخارجية بنفس الطريقة .

ومما ذكر آنفا ، يتضح أنه يمكن عن طريق اتباع نظام شحن يكفل حسن توزيع الغازات الصاعدة على مقطع الفرن ، بالإضافة إلى المبادرة في اكتشاف بدء تكوين الرواسب ، يمكننا التغلب عليها بسهولة . أما إذا استفحل الأمر ، ولم تجد المحاولات في التخلص منها ، فلا



مستوى فتحة نفق الهواء
مستوى فتحة النفق
مستوى فتحة المدخل



قطر ١-٢

قطر ٣-٤

شكل رقم (٤٥) - يبين الرواسب التي تكونت بالمزف «ب» بمصانع إيتا كيف سنة ١٩٥٤
لا يبرهن أنها ناتجة عن الهواء ولكن من الهواء والنفق المتعددة ط

مناص من إزالتها ، عن طريق النسف ، باستخدام عبوات ناسفة ، توضع هذه في أخرام تجهيز من خلال الصاج داخل الرواسب . ويسبق عمليات التخريم هذه خفض مستوى الشحنة بالفرن ، إلى مستوى أدنى من مستوى نهاية الرواسب السفلى ، مع إضافة نصف كمية الفحم المقدرة للصهر ، ولاختزال الرواسب حسب التقدير المبدئي لحجمها . ثم يبدأ التفجير ، وهذا عمل دقيق يحتاج إلى خبرة خاصة ، بحيث تتم إزالة كل أثر للرواسب نهائيا من المنطقة ، حتى لا تبقى هنال أى نواة يكون من السهل تكون الرواسب عليها بعد ذلك . وعند التأكد من انتهاء العمل ، تضاف الكمية المتبقية من الكوك ، ويبدأ في تشغيل الفرن كالمعتاد .

وقد مر الفرن الأول بمصانع حلوان بجمهورية مصر العربية ، بمرحلة خطيرة في بدء تشغيله ، نتيجة تكوين الرواسب بالمخروط العلوى ، ثم القضاء عليها بنفس الأسلوب . وكانت زيادة نسبة النواعم في المشحونات ، ونظام شحن الفرن ، من الأسباب الرئيسية في تكوين هذه الرواسب ، التى تميزت بارتفاع قاعدتها ، واحتوائها على نسبة عالية من أكاسيد المعدن .

وتتعرض الأفران الصغيرة حجما ، لتكون الرواسب بنسبة أعلى من الأفران ذات الحجم الكبير .

الباب الثامن

حسابات بعض مؤشرات تشغيل الفرن العالي

يعتمد تشغيل الأفران العالية ، برتابة وسلاسة ، للحصول على الحديد الزهر المطلوب طبقاً لمواصفاته المحددة ، إلى حد كبير ، على تحقيق تكوين خبث يحوى كل شوائب الخامات المستخدمة وغير المرغوب فيها ، وعليه كان لزاماً إجراء مجموعات من الحسابات ، لتحديد كل مؤشرات التشغيل ، وما أكثرها . وفى هذا المجال ، نورد بعضها وأهمها ، والتي تمثل مدخلا تتفرع منه بقيتها ، مع الأمثلة ما أمكن ، حيث يحدد هدف هذا الكتاب من إمكانية الاسترسال فى هذا الاتجاه ، رغم أهميته .

ويمكن تقسيم هذه الحسابات إلى الآتى :

أولاً - حسابات الشحنة :

وتختص هذه باحتساب كميات الخام ، ومساعد الصهر ، والمواد المختزلة المعروفة تحاليلها من قبل ، فى سبيل الحصول على منتجات ذات تحاليل محددة .

ثانياً - حسابات المنتجات :

وتختص هذه بحساب تحاليل ، وكميات منتجات الفرن من الحديد الزهر والخبث والغازات ، بمعرفة أوزان ومكونات المشحونات .

ثالثاً - حسابات الميزان الحرارى للفرن :

وتختص هذه باحتساب كميات الحرارة اللازمة للحصول على منتج معين ، باستخدام شحنات معروفة ، تتم عليها تفاعلات خاصة .

ونتم عادة ، ومع بداية التفكير فى أى مشروع لإنتاج الحديد والصلب ، دراسة الخامات التى ستستخدم به ، وتحديد تحاليلها الكيميائية ومكوناتها وخواصها تحديداً دقيقاً ، وتجمع هذه البيانات فى جداول تسمى جداول توصيف الخامات ، نورد فيما يلى ، وكمثال ، جدولاً يبين التحاليل الكيميائية للخامات المستخدمة والمنتجات :

جدول
مجمع التحاليل الكيميائية للمشحونات والمنتجات

مشحونات			منتجات		
خامات	مكونات	مكونات	الزهر	الحث	أنربة
حديدي	قاعدية	حامضية	الوقود	المنتج	الغازات
الافران	الغازات	الافران	المنتج	المنتج	الغازات
ليبد	خام	حجر	مغنيسيا سيليكات الومينا الكوك ما زوت		
%	%	جبرى%			
أكسيد حديدك	٧٨				
أكسيد حديدوز					
منجنيز	٠.٥			٠.٤	
فوسفور	٠.٨٥			٠.٩	
سيليكون				٢.١	
ألومينا	٥.٠		١.٠		
ماغنيسيا	١.٢	٠.٨			
جير	٥٣.٨				
كربون			٨٨	٣.٨	
رماد كوك					
مواد متطايرة					
رطوبة	٥.١		٢.٠		
أول أكسيد الكربون					٢٥.٧
ثاني أكسيد الكربون		٤٣.٤			١٢.٩
هيدروجين					٠.٣
نيتروجين					٥٨.١
سيليكات	٨.٤	٢.٠	١		
حديد				٩٢.٨	
.....					

وعليه ، وبمعرفة التحاليل ، يمكن إتمام حسابات الفرن العالى المذكورة آنفا وكما يلى :

أولاً : حسابات الشحنة :

ولمثل هذه الحسابات ، يفضل أن تساق الأمثلة الحسابية المحلولة ، لتسهيل إيضاح الخطوات اللازم اتباعها ، فمثلاً ، المطلوب تحديد

١ - وزن الخام المستخدم

٢ - وزن الجليخ الناتج ونسب مكوناته

٣ - وزن الهواء اللازم

٤ - حجم ونسب مكونات غاز الفرن الناتج

٥ - كمية الكوك المحترقة أمام الودانات

المقابل لكل طن (١٠٠٠) كجم) من الزهر المنتج بالتحاليل المبينة بالجدول أعلاه ، بفرن عال يستخدم خام الحديد ، والحجر الجيري ، والكوك بالتحاليل المبينة بالجدول . علماً بأن كمية الحجر الجيري تعادل ٤/١ كمية الخام المستخدمة ، وأن كل طن من الزهر يحتاج إلى ٩٠٠ كجم من الكوك ، وأن نسبة غاز أول أكسيد الكربون الناتج ، تعادل ضعف نسبة غاز ثانى أكسيد الكربون ، وأن الخبث يحوى ٠,٥% من الحديد الناتج .

الحل : (١) وزن الخام المستخدم :

$$\text{الحديد فى كل كجم من الخام} = \frac{١١٢}{١٦٠} \times ٠,٧٨ = ٠,٥٤٦ \text{ كجم}$$

$$\begin{aligned} \text{الحديد الهارب مع الخبث} &= ٠,٥٤٦ \times ٠,٠٠٥ = ٠,٠٠٢٧ \text{ كجم} \\ \text{الحديد المتبقى} &= \end{aligned}$$

$$٠,٠٠ \text{ وزن الخام اللازم} = \frac{٩٢٨}{١٧٠٨} \text{ كجم} \dots (١)$$

٢ - : وزن الجليخ الناتج :

يتكون الخبث من الأكاسيد التى لم يتم اختزالها مضافاً إليها باقى عائد العناصر (ص) ، وعليه نجد أن :

كمية السيليكا المشحونة =

$$٢٣٣ \text{ كجم} = ٠,٠٩ \times ٩٠٠ + ٠,٠٠٢ \times ١٧٠٨٤/١ + ٠,٠٨٤ \times ١٧٠٨$$

كمية السيليكا التي تم اختزالها للحصول على سيليكون المعدن

$$= ٦٠/٢٨ \times ٢١ = ٤٥ \text{ كجم}$$

$$٠٠ \text{ كمية السيليكا في الخبث} = ٢٣٣ - ٤٥ = ١٨٨ \text{ كجم ونسبتها } ٣٣,٩٠\%$$

وبالمثل نجد أن :

$$\text{كمية أكسيد المنجنيز في الخبث} = (٠,٠٠٦ \times ١٧٠٨) - ٧١/٥٥ \times ٤ = ٥ \text{ كجم}$$

ونسبتها ٠,٩%

$$\text{خامس أكسيد الفوسفور في الخبث} = (٠,٠١٧ \times ١٧٠٨) - ١٤٢/٦٢ \times ٩ = ٨ \text{ كجم}$$

ونسبتها ١,٤%

$$\text{أكسيد الحديدوز في الخبث} = ٧٢/٥٦ \times ٩٢٨ \times ٥/٩٩٥ = ٦ \text{ كجم ونسبتها } ١,١\%$$

$$\text{كمية الألومينا في الخبث} = (٥/١٠٠ \times ١٧٠٨ + ١/١٠٠ \times ٩٠٠) = ٩٤ \text{ كجم}$$

ونسبتها ١٦,٩%

$$\text{كمية الماغنيسيا في الخبث} = ١٢/١٠٠٠ \times ١٧٠٨ + ٤٠/٨٤ \times ٢/١٠٠ \times ١/٤ \times ١٧٠٨ = ٢٥ \text{ كجم . . ونسبتها } ٤,٥\%$$

$$\text{كمية الجير في الخبث} = ٥٦/١٠٠ \times ١٦/١٠٠ \times ٤٢٧ = ٢٢٩ \text{ كجم ونسبته } ٤١,٣\%$$

$$٠٠٠ \text{ وزن الخبث الاجمالي} = ٥٥٥ \text{ كجم تعادل } ١٠٠\%$$

وعليه تكون نسبة مكونات الخبث كما هو مبين أمام كل منها (٢)

٣ - حساب حجم الهواء اللازم :

الكربون المتبقى في غازات الأفران = الكربون الموجود في الكوك المشحون + الكربون الناتج من تحليل الكربونات - الكربون المتحد بالمعدن

$$= ٩٠٠ \times ٨٨/١٠٠ + ٤٢٧ \times ٩٦/١٠٠ \times ١٢/١٠٠$$

$$٤٢٧ \times ٢/١٠٠ \times ١٢/٨٤ - ٣٨ = ٨٠٤ \text{ كجم}$$

وحيث أن كلا من أول وثاني أكسيد الكربون ، يحوى ذرة واحدة من الكربون
 . . . $\frac{1}{2}$ الكربون هذا يتحول إلى ثاني أكسيد الكربون ، $\frac{2}{2}$ إلى أول أكسيد الكربون ،
 وعليه :

فوزن الأوكسيجين الموجود في أول أكسيد الكربون $= \frac{2}{2} \times 80.4 \times \frac{16}{12} = 718$ كجم .

فوزن الأوكسيجين الموجود في ثاني أكسيد الكربون $= \frac{1}{2} \times 80.4 \times \frac{32}{12} = 718$ كجم
 . . . إجمالى وزن الأوكسيجين $= 1436$ كجم

ولكن جزءا من هذا الأوكسيجين موجود أصلا متحدا بكربون مساعد الصهر ويساوى
 $= \frac{32}{12} (1.2 + 49.2) = 134$ كجم

وجزءا آخر تتج من اختزال أكسيد الحديدك ويساوى

$$= \frac{48}{100} \times \frac{78}{100} \times 170.8 = 600 \text{ كجم منها}$$

تخصم منه كمية الأوكسيجين المقابل لأكسيد الحديدوز بالخبث

$$= \frac{16}{72} \times 6 = 1 \text{ كجم}$$

. . . أوكسيجين أكسيد الحديدك $= 399$ كجم

وبالمثل :

الأوكسيجين المقابل لنسبة السيليكا المختزلة $= \frac{32}{28} \times 21 = 24$ كجم

الأوكسيجين المقابل لنسبة أكسيد المنجنيز $= \frac{16}{55} \times 4 = 1$ كجم

الأوكسيجين المقابل لاختزال خامس أكسيد الفوسفور $= \frac{80}{62} \times 9 = 12$ كجم

. . . إجمالى الأوكسيجين الناتج من الشحنة $= 570$ كجم

. . . وزن الأوكسيجين المأخوذ في الهواء اللائح $= 1436 - 570 = 866$ كجم

وزن الهواء المقابل $= \frac{866}{0.232} = 3730$ كجم

جم الهواء المقابل $= \frac{3730}{1.292} = 2885 \text{ م}^3 \dots (3)$

وواضح أن هذه الحسابات لم تتعرض لتفاصيل ما تم مرحليا داخل الفرن من تفاعلات ،
 ولكنها تعرضت لحالة بداية ثم نهاية ثابتتين ، وهو اتجاه صحيح ، إذا روعى الفرن ككل . أما

إذا قصدت دراسة الحسابات لتفاعلات بجزء معين به ، فالمزيد من التفصيلات والتفاعلات المرحلية تجب دراسته حينئذ ، كما أنها تحت الظروف المثالية للحرارة والضغط ، ولهذا فهي تخضع لتصحيح لتقابل الدافع .

٤ - حساب تحاليل الغازات ونسب مكوناتها .

مما تقدم نجد أن : -

$$\text{أول أكسيد الكربون} = 28/12 \times 718 \times 22.4/28 = 1005 \text{ م}^3 \text{ تعادل } 25.7\%$$

$$\text{ثاني أكسيد الكربون} = 44/32 \times 718 \times 22.4/44 = 503 \text{ م}^3 \text{ تعادل } 12.9\%$$

$$\text{النيتروجين} = 2885 \times 79/100 = 2278 \text{ م}^3 \text{ تعادل } 58.1\%$$

$$\text{بخار الماء} = 1708 \times 51/1000 + 900 \times 2/100 = 22.4/18$$

$$131 \text{ م}^3 \text{ تعادل } 3.3\%$$

$$\text{إجمالي } 3917 \text{ م}^3 = 100\% (4)$$

٥ - كمية الكوك المحترقة أمام الودنات : -

يحترق جزء من الكوك أمام ودنات الأفران إلى ثاني أكسيد الكربون ، ثم إلى أول أكسيد الكربون (ص) ، وعليه يكون التفاعل النهائي هو $2\text{ك} + \text{ا} - 2\text{ك} + 1$

وحيث أن كمية الهواء المستهلكة وجدت في المثال تعادل 2885 م³ / طن حديد وهي تحوى 2,885 × 0.21 = 606 كجم أوكسوجين

$$\text{وحسب التفاعل نجد أن هذا الأوكسيجين يحرق} = \frac{606 \times 24}{2.4}$$

$$= 649 \text{ كجم من الكربون}$$

وحيث أن الكوك يحوى 88% كربون ، وأن 900 كجم كوك تستخدم لإنتاج طن الزهر

$$000 \text{ كمية الكربون بالكوك المستخدم} = 792 \text{ كجم}$$

$$\text{وعليه فنسبة الكوك المحترق أمام الودنات إلى المستخدم} = 792/649 = 82\%$$

أما الجزء الباقي من كربون الكوك ، فإما أن يختلط بالحديد ، وأما أن يؤكسد في المستويات الأعلى عن مستوى الودنات بأوكسوجين أكاسيد الحديد .

ثانيا : حسابات المنتجات ووضع ميزان المواد :

يلزم دواما للحكم على عمليات الأفران ، إجراء المقارنة الحسابية بين المشحون من الخامات والخارج في المنتجات ، وبمعرفة مدى تطابقها ، يمكن الحكم على مدى مطابقة تحاليل كل منها لأرقام التسجيل والمتوسطات . كما يمكن البحث عن أسباب القصور - إن وجدت - ومعرفة تسهيل شرح هذه الحسابات ، نسوق المثال الآتي : -

يستهلك فرن عال ٩١٢ طنا من خام المجنتيت ، ٥١٠ أطنان من الكوك ، وكميات كافية من الحجر الجيري ، لإنتاج خبث يحوى ٤٠٪ من السيليكا . فإذا افترض أن كل الفوسفور المشحون ، ٥٠٪ من المنجنيز المشحون ، ١/٥ كمية السليكا المشحونة ، يتم اختزالها جميعا ، وتتحده بالحديد ، لتنتج حديد زهر يحوى ٤٪ كربون .

ويفرض أن كل الكبريت ، وأن ١٪ من الحديد المشحون يتحدان بالخبث ، وأن كمية الهواء اللافيح تعادل / ٣٢٠٠ م^٣ (مقاسه عند ٥١٥,٥ م ، ٧٦٢ مم زئبق وتحتوى ٢٢,٥ جم من الرطوبة بكل م^٣) ، لكل طن كوك مشحون ، احسب الآتي :

١ - ميزان كامل للمواد بالكيلو جرام لليوم .

٢ - نسب مركبات كل من الحديد الزهر والخبث والغازات الناتجة .

علما بأن تحاليل الخام ومساعد الصهر والكوك كما يلى :

الكوك	مساعد الصهر	خام الماغنيتيت
%	%	%
٨٧,٢ كربون	٩٥,٤ حجر جبرى	٧٠,٣ أكسيد ماجنيتيت
٢,٠ بيرست	٢,٥ كربونات مغنيسيوم	٤,٨ أكسيد حديدك
٩,٠ سيليكا	٠,٥ ألومينا	١٠,٢ سيليكا
١,٨ ماء	٠,٩ سيليكا	٠,٩ خامس أكسيد الفسفور
	٠,٧ ماء	٣,٦ أكسيد منجنيز م ٢١

ألومينا ٢,٦

ماء ٧,٦

الحل :

من حاصل ضرب أوزان الخامات المشحونة في نسب مكوناتها ، يمكن الحصول على أوزان هذه المكونات ، وتوضع في الخانة الأولى من جدول ميزان المواد ، وتحسب كالآتي :

عنصر الحديد :

الحديد المشحون كأكسيد حديد مغناطيسي $= ١٦٨٠/٢٢٢ \times ٦٤١ = ٤٦٤$ ألف كجم

الحديد المشحون كأكسيد حديدك $= ١١٢/١٦٠ \times ٤٤ = ٣١$ ألف كجم

.. .. كبريت بالكوك $= ٥٦/٨٨ \times ١٠ = ٦,٥$ ألف كجم

إجمالي $= ٥٠١,٥$ كجم

.. الحديد الفاقد في الخبث على هيئة أكسيد حديدوز $= ١/١٠٠ \times ٥٠١,٥ = ٥$ كجم

.. أكسيد الحديدوز بالخبث $= ٧٢/٥٦ \times ٥ = ٦,٥$ كجم

وبافتراض أن هذه الكمية من الحديد مأخوذة من حديد أكسيد الحديدك ، ينتج أن

أكسيد الحديدك في الزهر $= ٣١ - ٥ = ٢٦$ كجم

عنصر المنجنيز :

المنجنيز في أكسيده (م٢) $= ٥٥/٨٧ \times ٣٣ = ٢١$ ألف كجم

المنجنيز في الحديد الزهر $= ١٠,٥$ ألف كجم

.. أكسيد المنجنيز في الخبث $= ٧١/٥٥ \times ١٠,٥ = ١٣,٥$ ألف كجم

السيليكا :

السيليكا الموجودة مصدرها السيليكا المشحونة ، بالإضافة إلى السيليكا الموجودة في مساعد الصهر ، وعليه فإذا افترض أن وزن مساعد الصهر المستخدم = س

... السيليكا الذى يحتويها = ٠,٠٠٩ س

ويكون إجمالى السيليكا المشحونة = ٩٣ + ٤٦ + ٠,٠٠٩ س

ويكون ١/٥ هذه الكمية، يمثل ٤٠٪ من وزن الخبث الناتج.

وحيث أن مكونات الخبث الأخرى هى كما يلى :-

من الخام = ح ١ + م ١ + لو ٢ + ٢ = ٦,٥ + ١٣,٥ + ٢٣,٥ = ٤٣,٥

من مساعد الصهر = كا ١ + مغ ١ + لو ٢ + ٢ = ٥٣٤ س + ١٢,٠ س + ٠,٠٠٥ س = ٥٤٨ س

من الكوك = كاس المتكون من (ح س) باستعمال (كا ١) من مساعد الصهر كالاتى :

(ح س + كا ١ + ك - ح + كاس + ك ١)

= ١٠ × ٧٢/٨٨ = ٨ ، (كا ١) المستخدم = ١٠ × ٥٦/٨٨ = ٦,٥ ألف كجم

... الوزن الكلى للخبث حاويا السيليكا = ٤٣,٥ + (٦,٥ - ٨) + ٠,٥٥١ س + ١/٥ = (١٣٩ + ٠,٠٠٩ س)

= ١٥٦ + ٠,٥٥٨ س

... ٢٢٢ + ٠,٠٧ س = ٤٠/١٠٠ (١٥٦ + ٠,٥٥٨ س)

... س = ٢٢٥

وعليه تصبح كمية السيليكا فى الخبث = ١٣٩ + ٠,٠٠٩ س = ١٤١ ألف كجم

والسيليكون ناتج الاختزال المتحد بالحديد = ٢٨/١٠٠ × ١١٤/٥ = ١٣ ألف كجم

الجير:

أكسيد الكالسيوم فى مساعد الصهر = ٥٦/١٠٠ × ٢١٥ = ١٢٠ ألف كجم

أكسيد الكالسيوم اللازم لتكوين كالكب = ٥٦/٨٨ × ١٠ = ٦,٥ ألف كجم

الكالسيوم المقابل = ٤٠/٥٦ × ٦,٥ = ٤,٥ ألف كجم

الحديد الزهر:

وزن الحديد الزهر بدون الكربون = ٥٢٣ ألف رطل

وزن الكربون به = $٥٢٣ \times \frac{1}{16} = ٢٢$ ألف رطل

الهواء اللازم:

حجم الهواء الكلى = $٣٢٠٠ \times ٥١٠ = ١٦٣٠٠٠٠$ متر مكعب مقاسا عن درجة حرارة ١٥,٥ مئوية وضغط ٧٦٢ مم

كمية الماء بالهواء = $١٦٣٠٠٠٠ \times ٢٢,٥$

٣٣٠٠ كجم

وحيث أن كل كجم من الوزن الفعلى للغاز يحوى ٢٢,٤ متر مكعب عند درجة الصفر وضغط ٧٦٠ مم

$$= ٢٢,٤ \times \frac{٧٦٠}{٧٦٢}$$

= ٢٣,٦ متر مكعب

عند درجة ٢٥,٥ وضغط ٧٦٢ مم

٠٠٠ حجم بخار الماء = $٢٣,٦ \times \frac{٣٣٠٠}{١٨} = ٤٣$ ألف قدم مكعب

٠٠٠ حجم الهواء الجاف = $١٦٣٠ - ٤٣$

= ١٥٨٧ ألف مكعب

وحيث أن المتر المكعب من الهواء عند درجة الصفر وضغط ٧٦٠ مم يزن ١,٠٥ كجم

٠٠٠ المتر المكعب عند درجة حرارة ١٥,٥ وضغط ٧٦٢ يزن =

$$١,٠٠١ = \frac{٢٧٢}{٧٦٠} \times ١,٠٥$$

٠٠٠ وزن الهواء الجاف = $١٥٧٨ \times ١,٠٠١ = ١٦٠٠$ ألف كجم

ووزن الأوكسيجين به = $١٦٠٠ \times ٢٣,٢ = ٣٧١$ ألف كجم

وبناء عليه يمكن استكمال جدول موازنة المواد ليصير فى شكله النهائى كالاتى:
ومنه يمكن حساب نسب مكونات كل من الزهر والخبث.

أما تكوين وتحليل غازات الأفران، فيجب أن تحسب طبقا للحجم، وعليه:

وزن كربون الكوك المحترق = ٤٢٣ ألف كجم

وزن الأوكسيجين المتاح لاحتراق الكوك

لإنتاج ك ا، ك ا،
= ٦٥٨ ألف كجم

ومنه نجد أن كمية الأوكسيجين لإنتاج أول أكسيد الكربون

= ٤٢٣ × ١٦/١٢
= ٥٦٤ ألف كجم

كمية أول أكسيد الكربون المقابلة
= ٩٥٦ ألف كجم

مخلفة كمية من الأوكسيجين لتحويل أول أكسيد الكربون

إلى ثاني أكسيد الكربون تعادل
= ٩٤ ألف كجم

والتي تؤكسد كمية من أول أكسيد الكربون = ٢٨/١٦ × ٩٤ ح
= ١٦٥ ألف كجم

مكونة كمية من ثاني أكسيد الكربون
= ٢٥٩ ألف كجم

مخلفة خلفها كمية أول أكسيد الكربون
= ٨٢٢ ألف كجم

وعليه ، وبإضافة غاز ثاني أكسيد الكربون ناتج تحلل الكربونات ،

يصبح إجماليه
= ٣٥١ كجم

وعليه يلخص ناتج غازات الأفران كالاتي :

أول أكسيد الكربون = ٨٢٢ × ٢٥٩/٢٨ = ١٠٥٣٢ ألف م^٣ = ٣٣,٨ %

جدول ميزان المواد كجم في اليوم × ١٠٠٠

الشحنة	الحديد الزهر	الخبث	الغازات
الخام (٩١٢)			
أكسيد ماجنتيت	= ٦٤١ حديد	= ٤٦٤	= ١٧٦ أ
أكسيد حديديك	= ٤٤ حديد	= ٢٧ أكسيد حديدوز	= ٦,٥ أ
سيليكات	= ٩٢ سيليكاتون	= ٦٣ سيليكات	= ٦٥ أ
خامس أكسيد الفوسفور	= ٨ فسفور	= ٣,٥	= ٤,٥ أ
أكسيد المنجنيز م أ	= ٣٣ منجنيز	= ٠,٥ أكسيد المنجنيز	= ١٣,٥ أ
ألومينا	= ٢٣	= ٢٣,٥ ألومينا	= -
ماء	= ٦٩		
مساعد الصهر (٤٤٩)			
حجر جيري	= ٢١٥	= ١١٣,٥ كا	= ٩٤,٥ ك أ
كربونات المغنيسيوم	= ٥٥	= ٢,٥ مغ	= ٣ ك أ
ألومينا	= ١	= ١ لو أ	= ٢ أ
سيليكات	= ٢	= ٢ س أ	
ماء	= ١,٥	= ٤,٥ نكا	= ١,٥ ن أ
الكوك (١٠٢٠)			
كربون	= ٤٤٥ كربون	= ٢٢	
سيليكات	= ٤٦	= ٤٦ س أ	= ٤٢٣ ك
بيريت	= ١٠ حديد	= ٦,٥ كب	= ٣,٥
ماء	= ٩		= ٩ يد أ
هواء نفخ (٤,٣٧٣)			
أوكسجين (١)	= ٣٧١		= ٣٧١ أ
نيتروجين (ن)	= ١٢٣٠		= ١٢٣٠ ن
ماء	= ٣٣		= ٤ يد
			= ٣٩ أ
إجمالي	٣٢٧٠ ٥٤٦	٢٨٢	٢٤٤١

ثاني أكسيد الكربون = $351 \times 259/44 = 2864$ ألف م^٣ = ٩,٣٥ %

بخار الماء = $33 \times 259/18 = 1195$ ألف م^٣ = ٣,٨٤ %

هيدروجين (يد) = $8 \times 259/18 = 718$ ألف م^٣ = ٢,٣٦ %

نتروجين = $1230 \times 259/28 = 15768$ ألف م^٣ = ٧٠٠ %

إجمالي = ٣١٠٦٧ ألف م^٣ تعادل ١٠٠ %

ثالثا : حساب الميزان الحرارى للفرن :

يحتاج العاملون بالفرن العالى ، لمجموعة أخرى من الحسابات ، تصور العلاقة ما بين كميات الحرارة المتاحة وكمياتها اللازمة لإتمام العمليات الميتالورجية بالفرن ، وبمجاهاة ظروف التشغيل ، ومثلها تم فى احتساب ميزان المواد ، يمكن تلخيص الحسابات الحرارية فى جدول مماثل يسمى « جدول الميزان الحرارى » للفرن .

ونظرا لضيق المكان والمجال ، نتعرض لذلك هنا بشيء من الاختصار ، وكتوجيه فقط . وعليه فى جانب الحرارة المتاحة يحسب الآتى :

١ - الحرارة ناتج احتراق الوقود .

٢ - الحرارة الكامنة فى الوقود والهواء وشحنات الفرن (وهى عادة صغيرة)

٣ - الحرارة ناتج التفاعلات الكيميائية الطاردة للحرارة .

وفى جانب الاستهلاك أو الاحتياجات يحسب الآتى :

١ - الحرارة المستهلكة فى التفاعلات الكيميائية الماصة للحرارة .

٢ - الحرارة المستهلكة فى تبخير رطوبة المشحونات .

٣ - الحرارة الكامنة فى غازات الأفران .

٤ - الحرارة الكامنة فى منتجات الأفران كالمعدن والخبث .

٥ - الحرارة المستهلكة فى مياه التبريد .

٦ - فواقد الحرارة نتيجة الإشعاع أو التوصيل .

وعليه وبالعودة إلى أرقام ميزان المواد فى المثال السابق ، يمكن احتساب مصادر الطاقة المتاحة كالاتى :

١ - الحرارة ناتج احتراق الوقود نجد أن :

الحرارة الناتجة من الكربون المحترق إلى أول أكسيد الكربون $= 352 \times 2470 = 869$ ألف كيلو كالورى

الحرارة الناتجة من الكربون المحترق إلى ثاني أكسيد الكربون $= 96 \times 8260 = 586$ ألف كيلو كالورى

إجمالى $= 1455$ ألف كيلو كالورى (١)

٢ - الحرارة الكامنة في الهواء الجاف :

ويتم تسخين الهواء حتى 1100° فهرتهيت

$$= 1600 (0.234 + 173 \times 10 \times 0.93 + 593 \times 0.93) = 427 \text{ ألف كيلو كالورى}$$

الحرارة الكامنة في رطوبة الهواء :

$$= 33 (0.46 + 6 \times 10 - 5 \times 0.93 + 593 \times 0.93) = 9 \text{ ألف كيلو كالورى}$$

(٢) ٤٣٦

إجمالى

(الحرارة الكامنة بمادة = وزن المادة (الحرارة النوعية عند درجة حرارة المادة) \times درجة الحرارة وتكون اوجه الاستهلاك كالاتى :

(لها جداول خاصة)

١ - ١ - الحرارة اللازمة لتكوين الخبث :

تتكون من مجموع حرارة تكوين مركباتها ، وتجمع هذه في جداول خاصة ، وفي حالتنا نكتفى باحتياج تكوين المركب (كا . ا . س) باعتبار أنه الأكبر نسبيا وتعادل ٤٢٠ كيلو كالورى / كجم سيليكات

الحرارة اللازمة لتكوين الخبث $= 113 \times 420 = 47,5$ ألف كيلو كالورى ورغم أن هذا ربما يقل عن الحقيق بنسبة ٢٥% إلا أنه ولصغر القيمة الإجمالية ، فإنه فيمكن إهمال الفرق .

١ - ٢ - الحرارة اللازمة لتكوين الحديد من مكوناته : (لها جداول خاصة)

أساسا لتكوين كربيد الحديد (ح ك) وتساوى (- ٤٤٣ كيلو كالورى / كجم كربون ،

أما لتكوين (ح ٣ س) = ٢٠٠٠٠ كيلو كالورى / كجم

واحسابها في مثالنا ، نجد أن قيمتها تساوى = ١٩ ألف كيلو كالورى

١ - ٣ - الحرارة المنتصة في اختزال الأكاسيد :

وهي اختزال أكاسيد الحديد والسيليكا وخامس أكسيد الفوسفور وأكسيد المنجنيز (لها جداول خاصة)

وفي مثالنا هنا تساوى ٩٢٧ ألف كيلو كالورى

١ - ٤ - الحرارة اللازمة لتحلل الكربونات :

باستخدام جداول (حرارة تكوين المركبات) ، نجد أن تحلل الحجر الجيري ٤٣٤٥٠ كالورى لكل جزىء.

ولكربونات المغنسيوم تساوى ٢٧٨٠٠ ك / لكل جزىء من المركب ، وعليه ففى مثالنا نجد أن :

الحرارة اللازمة لتحلل الحجر الجيري = ٢١٠ × = ٩٣ ألف كيلو كالورى

الحرارة اللازمة لتحلل كربونات المغنسيوم = ٥,٥ × = ٢ ألف كيلو كالورى

إجمالى = ٩٥ ألف كيلو كالورى

إجمالى الحرارة المستهلكة في التفاعلات الكيميائية الماصة للحرارة = ١٠٤١ ألف كيلو كالورى (١)

٢ - الحرارة اللازمة لتبخير الرطوبة :

الماء المتبخر = ٦٢ + ١٣ + ٨٢ = ٧١,٥ الحرارة اللازمة = ٧١,٥ × ٥٨٦ = ٤١,٥ ألف كيلو كالورى

الحرارة اللازمة لتحلل مياه رطوبة الهواء

= ٣٤ × = ١١٢ ألف كيلو كالورى (٢)

٣ - الحرارة الكامنة في غازات الأفران :

ك ١ = ٧٩١ (٠,٢٤٢ + ١٨ × ١٠-٧ × ٢٠٤) × ٢٠٤ = ٣٩,٧ ألف كيلو كالورى

ك ١ = ٣٥١ (٠,٢٠٥ + ٤٦ × ١٠-٧ × ٢٠٤) × ٢٠٤ = ١٥,٣ ألف كيلو كالورى

يد = ٤٣ = ٠,٤٦ + ٦ × ١٠ - ٢٠,٤ × (٢٠,٤ × ٦ + ٢٠,٤ = ٤,٢ ألف كيلو كالورى
هيدروجين = ٤ = ٣,٢٥ + ٢٢ × ١٠ - ٢٠,٤ × (٢٠,٤ × ٢٢ + ٢٠,٤ = ٢,٦ ألف كيلو كالورى
نتروجين = ١٢٣٠ = ٠,٢٤١ + ١٨ × ١٠ - ٢٠,٤ × (٢٠,٤ × ١٨ + ٢٠,٤ = ٦٠,٢ ألف كيلو كالورى
إجمالى = ١٢٢ ألف كيلو كالورى ... (٣)

٤ - ١ الحرارة الكامنة فى المعدن المنتج : (درجة حرارة الحديد ١٥٩٠ ° م)
من الجداول الخاصة ، ومع مراعاة درجة الحرارة اللازم وصول المعدن لها (١٥٩٠ ° م)
نجد أن الحرارة الكامنة بالمعدن عند درجة حرارة الإسالة (تحليل كربون) تعادل ٢٣٠ كجم
كالورى ، ومع معرفة أن الحرارة النوعية لهذا الزهر (٤٪ كربون) = ٠,١٥

٠٠٠ الحرارة الكامنة = ٥٤٥ = (٢٣٠ + ٤٩٣ × ٠,١٥) ألف كيلو كالورى

٤ - ٢ الحرارة الكامنة فى الخبث المنتج : (درجة حرارة الجليخ الناتج = ١٥٩٠ ° م)

وبالمثل ، وبالرجوع إلى الجداول الخاصة نجد أنها

= ٢٨٢ = (٤٠٠ + ٣٠٠ × ٠,٣٠) ألف كيلو كالورى

٠٠٠ إجمالى الحرارة الكامنة بالمنتجات = ٣٠٤ ألف كيلو كالورى ... (٤)

٥ - الحرارة الممتصة بمياه التبريد : (٤٠٠ ألف جالون لليوم ، ترفع ٥٥,٦ ° م)

الحرارة اللازمة = ٩٣ ألف كيلو كالورى ... (٥)

٦ - الحرارة المفقودة بالإشعاع والتوصيل :

لعدم توافر البيانات ، تحسب كالفارق بين مصادر والاستهلاك
أى تساوى فى حالتنا = ١٩٣٠ - ١٧٢١ = ٢٠٩ ألف كيلو كالورى

ونلخص النتائج فى جدول الميزان الحرارى كالتالى

وتسهيلا لأعمال الحسابات هذه عكف العلماء على تبسيطها ، ووضعت لها علاقات تجمع
العديد من الجداول والدلالات فى صورة مجموعة من الرسوم البيانية ، يمكن بالرجوع إليها ،
إنهاء هذه الحسابات فى زمن أقل ، وبتقريب لا يضر بمجمل الهدف . ومن هذه المجموعة ،
تلك المحددة بالأشكال الآتية :

الأشكال ٤٦ ، ٤٧ ، ٤٨ ، ٤٩ ، ٥٠ .

جدول الميزان الحرارى

الاحتياجات			الصادر		
البند	رطل كالورى × ١٠٠٠	%	البند	رطل كالورى × ١٠٠٠	%
احتراق الوقود	١٤٥٥	٨٣,٣	تكوين الحديد	١٩	٠,٩٨
مع الهواء اللافتح	٤٢٧	١٤,٨	اختزال الأكاسيد	٩٢٧	٤٨,٠٠
تكوين الخبث	٤٨	١,٩	تحلل الكربونات	٩٥	٤,٩
			تبخر الرطوبة	٤١,٥	٢,٢
			تحلل الماء	١١٢,٥	٥,٨
			حرارة بالغازات	١٢٢,٠	٦,٣
	١٩٣٠			١٣١٧	
			حرارة بالمعدن	١٦٦	٨,٥٥
			حرارة بالخبث	١٣٨	٧,٢٥
			حرارة ببناء التبريد	٩٣	٤,٨
			ح كـ ب - كاكـ ب	٧	٠,٤٠
			فواقد الاشعاع والتوصيل	٣٨١	١٠,٨
إجمالي	١٩٣٠	١٠٠		١٩٣٠	١٠٠

وتستغل هذه الاشكال والجداول في حساب المتطلبات الآتية :

١ - حساب كمية الكوك اللازمة لشحنة معينة :

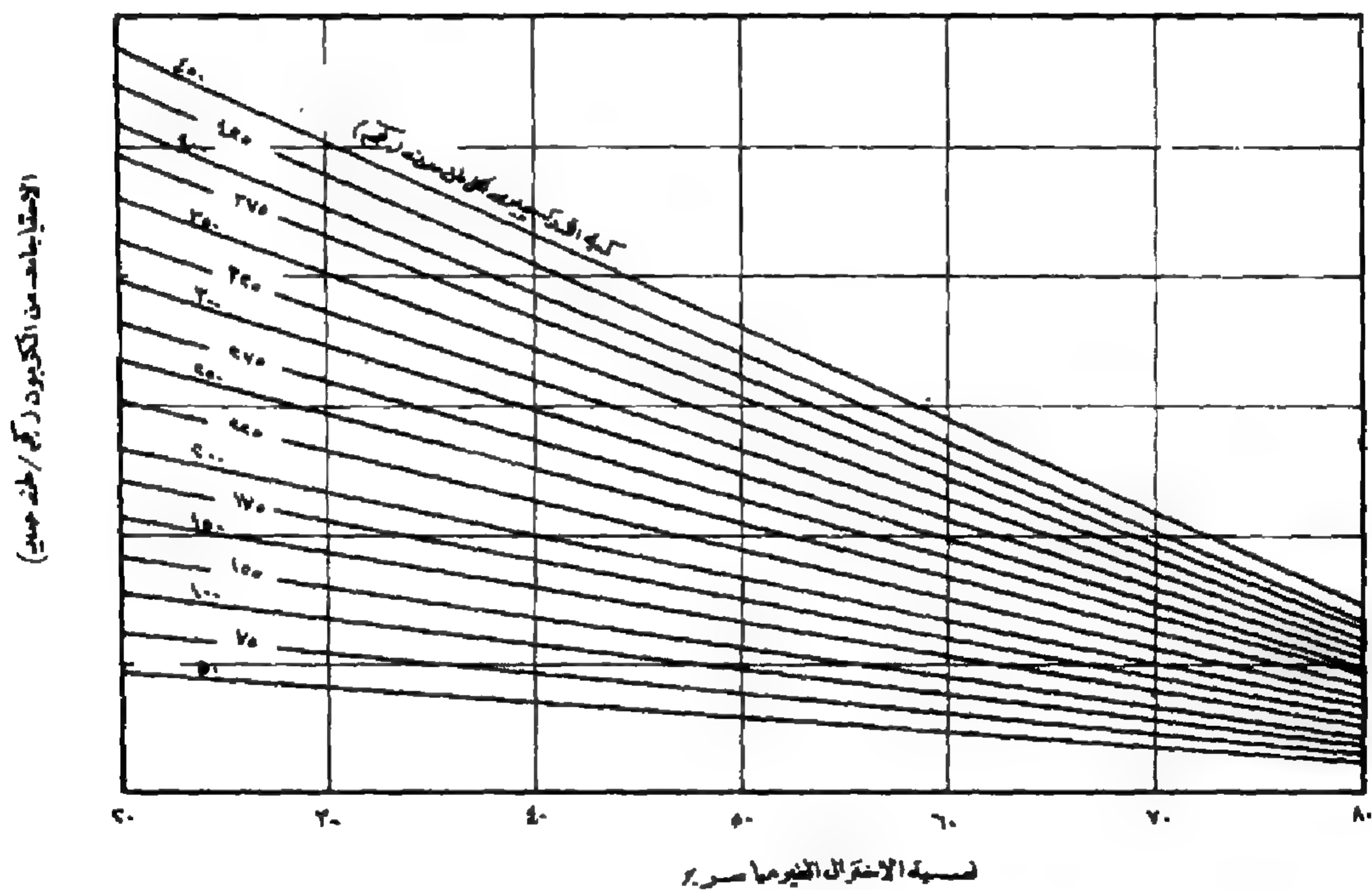
باستخدام هذه المجموعة من العلاقات ، يمكن احتساب كمية الكوك اللازمة لشحنة ما كالآتى :

أولاً - الكوك اللازم للاختزال :

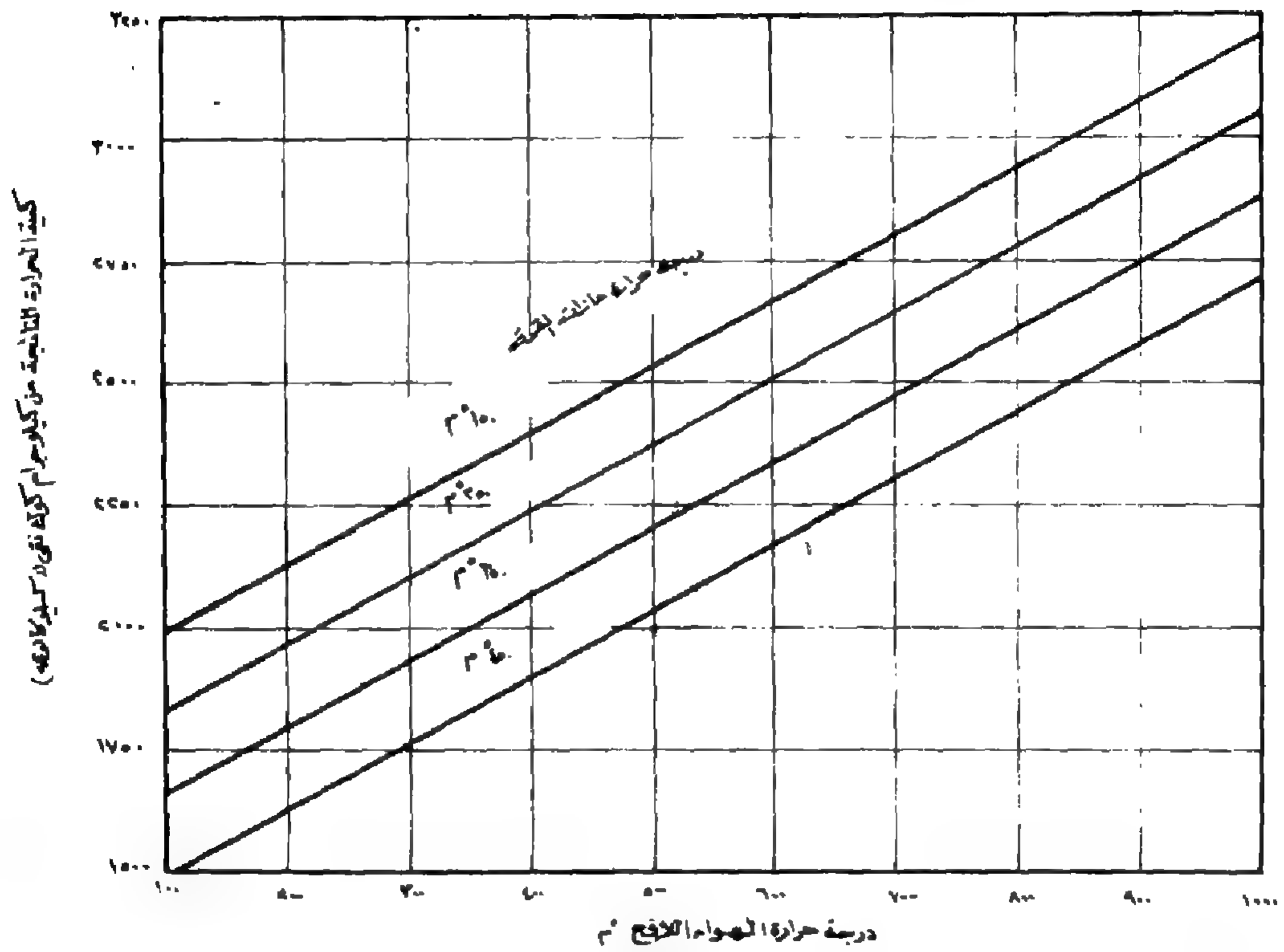
(أ) يحسب كالمعتاد الكوك اللازم لاختزال الأكاسيد المكونة للحديد الزهر المنتج - نسبة الاختزال غير المباشر لهذه الأكاسيد) $\times ٧٥/١٠٠٠$

(ب) شكل رقم (٤٦) يحدد هذه الكمية .
 ثانيا : الكوك اللازم لتكوينه ، متوسط (أ) ، (ب) بطيء الكوك اللازم
 للاختزال (١)

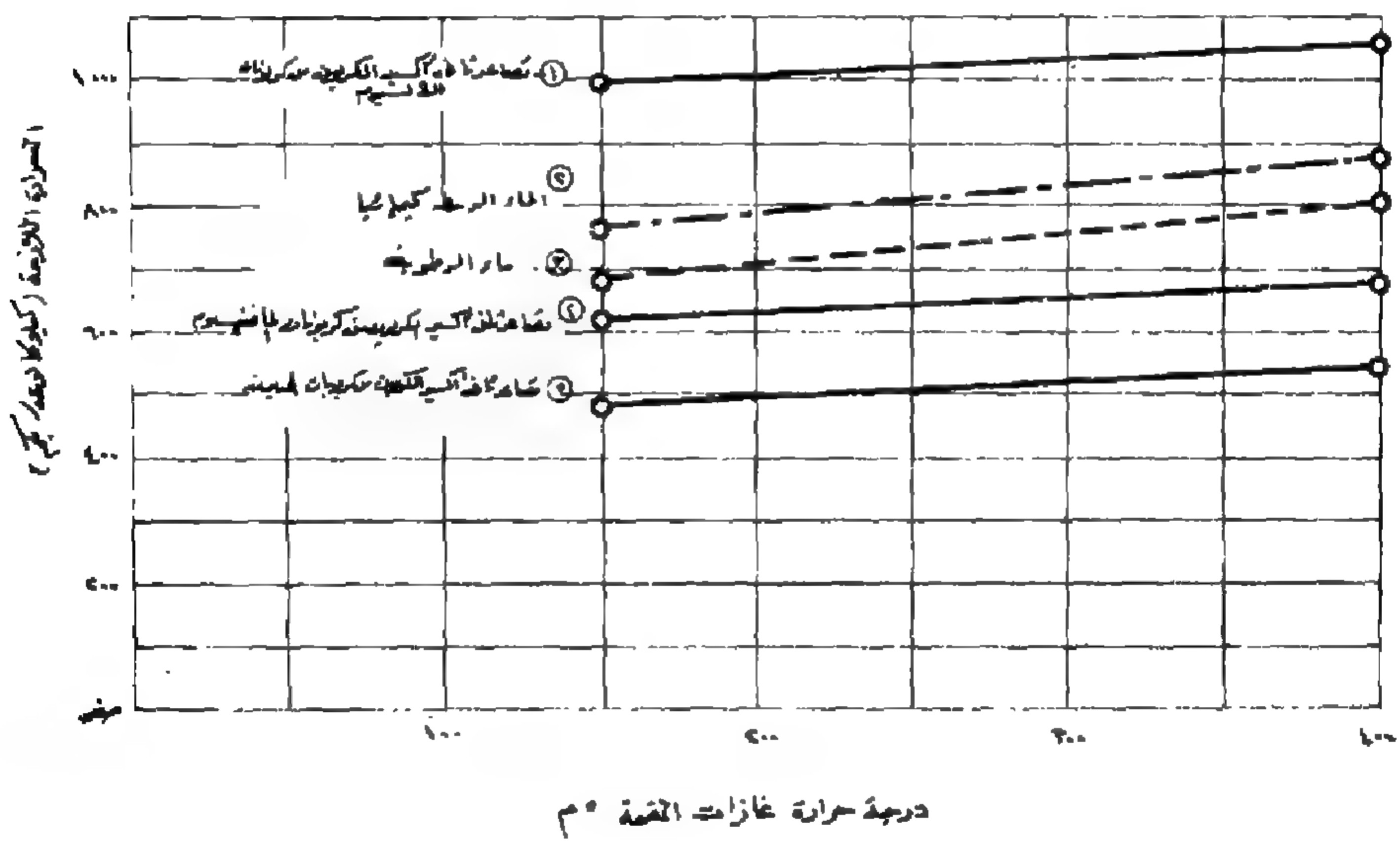
شكل ٤٦- احتياج اختزال النحاس من الكربون



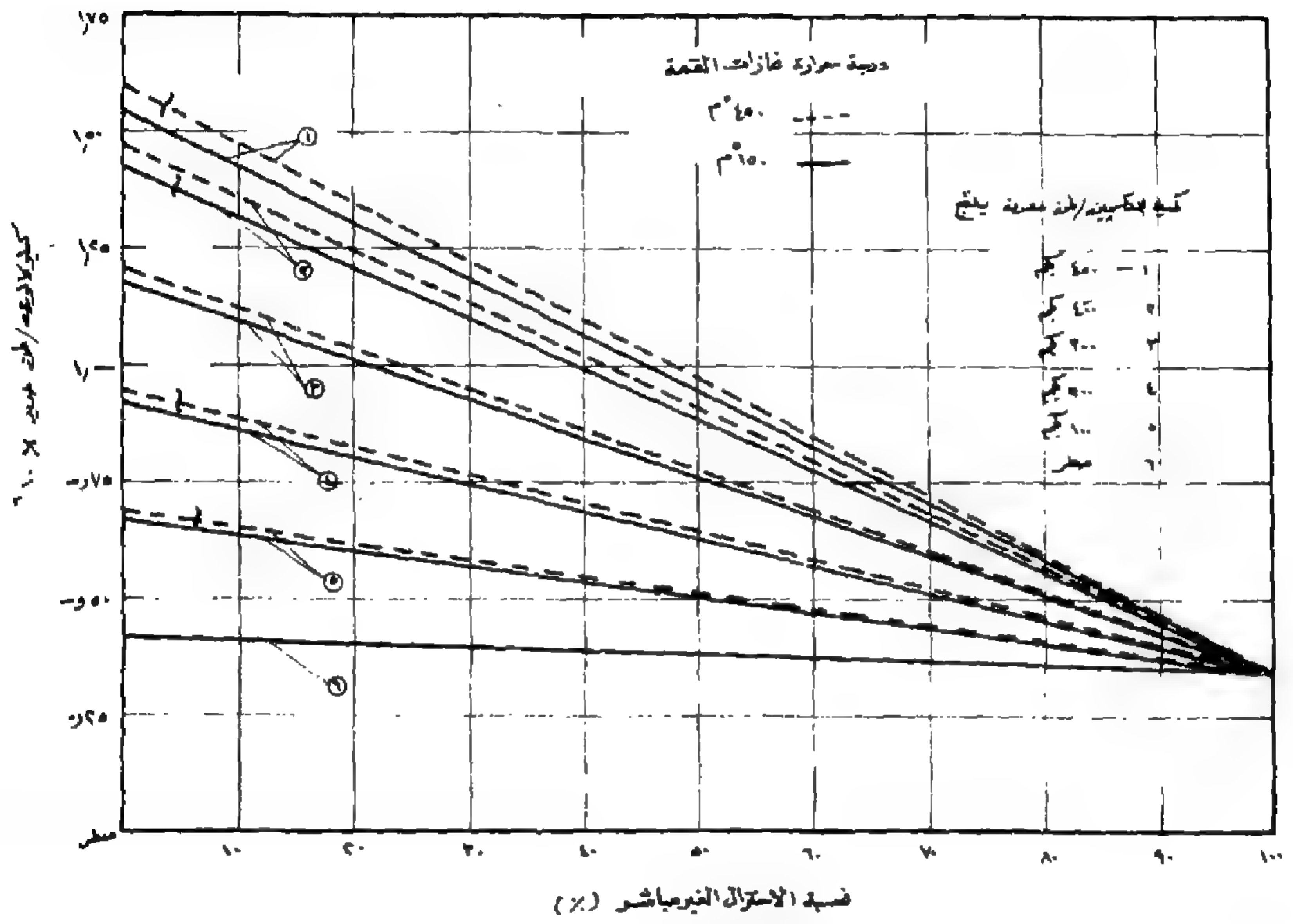
شكل ٤٧ - كمية الحرارة الناتجة من كيلوجرام كوكلة نقي
والطارد اليه بمعدل ١٠ كجم ماء / م^٢ حرارة



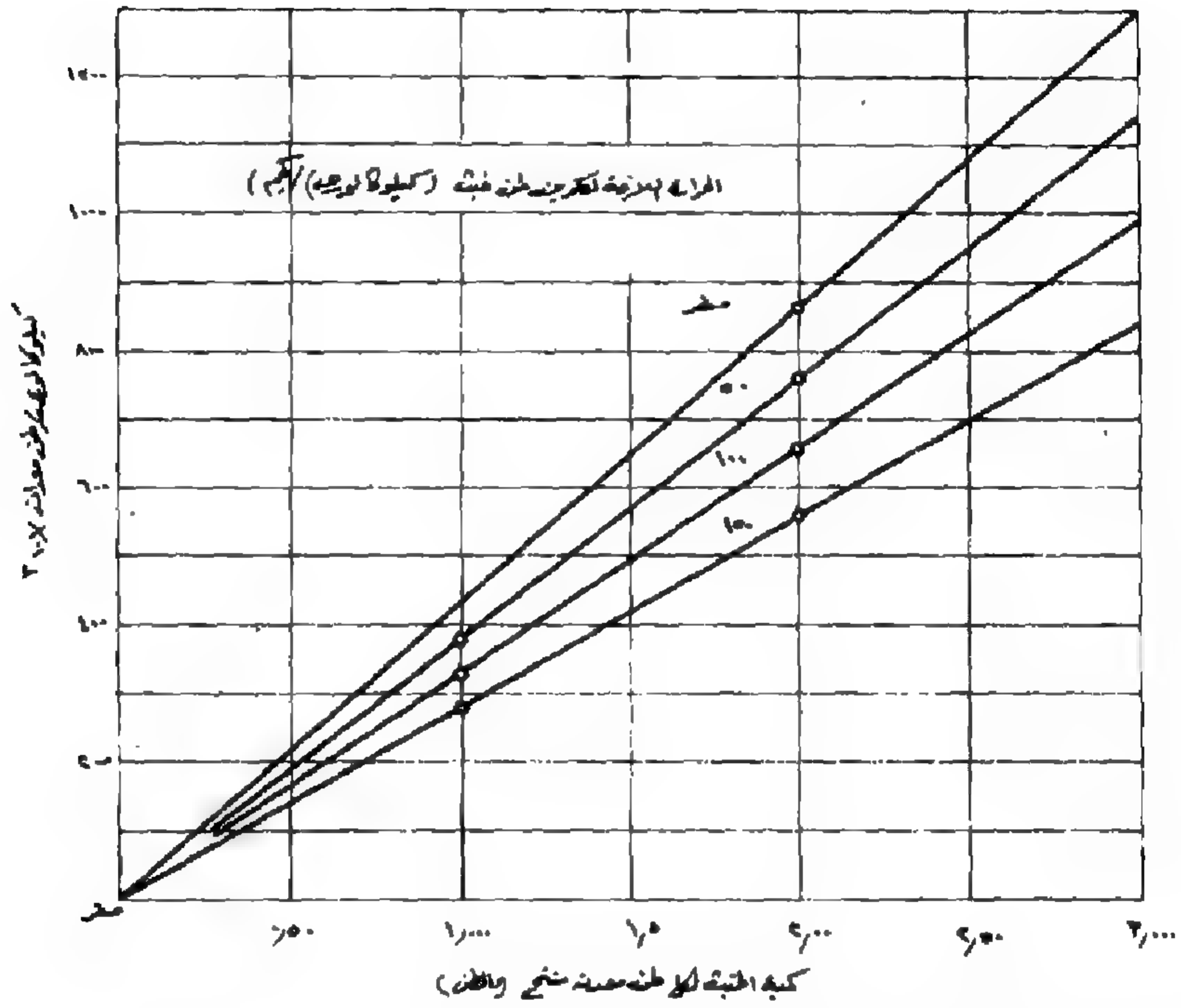
شكل ٤٨ - احتياجات كل كجم من قاذفي أكسيد الكربون بالكربونات
أو الماء من الحسوة



شكل ٤٩ - الحرارة اللازمة للاختزال والتفاعلات بوظيفة العنصر



شكل (٥٠) - الحرارة اللازمة لتكوين الخبز



ثانيا : الكوك اللازم للكرينة : مباشرة من تحليل المعدن يمكن احتسابها (٢)

ثالثا : الكوك اللازم للتسخين :

كمية الكوك اللازم لتكوين الحديد ، ورفع حرارته لدرجة حرارته عند صبه + كمية الكوك اللازم لتكوين الخبث ، ورفع حرارته لدرجة معينة + كمية الكوك اللازم للتخلص من الرطوبة وتبخرها ، والكوك اللازم لتحلل الكربونات والهيدروكسيدات ، والكوك المطلوب ولتكوين بخار الماء ورفع درجة حرارته + الكوك المقابل للحرارة الخارجة مع الغازات + الكوك اللازم لتوفير الحرارة المفقودة بالإشعاع أو التوصيل + الحرارة اللازمة لباقي التفاعلات .

وهذه يمكن تحديدها باستخدام الأشكال أرقام (٤٧) ، (٤٨) ، (٤٩) ، (٥٠) حيث يمكن تمثيل هذه العلاقة كالآتي :

الاحتياجات عالية

كوك تسخين = الحرارة الناتجة عن احتراق كربون الكوك — الحرارة اللازمة لتسخين هذا الكوك لدرجة الاحتراق .

والحرارة اللازمة لتسخين الكوك هذه تعادل $\frac{١٢٠ \text{ الى } ١٥٠}{٧٧} \text{ كيلو كالورى/كجم كوك ساخن وعليه يجمع ناتج (١) ، (٢) ، (٣) تحدد كمية الكوك اللازمة لشحنة ما .}$

وبالمثل يمكن معرفة تحاليل وكميات الشحونات ، وتحاليل الحديد الزهر الناتج ، احتساب كمية الخبث الناتج ، وتحاليله ، ونسب مكوناته ، ومؤشرات التشغيل للفرن بسهولة ، باستخدام نموذج الحسابات الآتى :

٢ - حسابات كمية الغازات الناتجة بطريقة مباشرة :

لما كان نتروجين الهواء اللافح ، لا يتعرض من خلال رحلة الغازات في الفرن لأى تغيير في كميته (خلافا للنقص المحدود مقابل تلك الكميات التى تتحد بجزء من كربون الكوك وتكوين السبانوجين ، أو تلك التى تتحد بهيدروجين مكونة أمونيا) ، فعليه يمكن اعتبار هذه الكمية ثابتة :

وحيث أن نسبة النتروجين بالحجم في الهواء اللافح تساوى ٧٩%

وأن نسبة النتروجين بالحجم في غازات الأفران ، معروف من قراءات الأجهزة (مثلا

(٥٩%)

٣ - تحديد كمية الغازات الناتجة أمام الودنات :

بمعرفة تحليل غاز الودنات (ص) ، وحيث أن كل ١٠٠ جزء من هذا الغاز تنتج من (٨٣,٤) جزء من الهواء اللافح

٠٠٠ حجم غاز الودنات يعادل = ١,٢ حجم الهواء اللافح الفعلي الداخِل للفرن ويمكن تحقيق ذلك من ميزان التروحين ، ومن خلال تحليله في كليها .

٤ - حساب القيمة الحرارية لغاز الأفران :

بمعرفة تحاليلها وبمعرفة الآتي :

كل كجم كربون ، يتحول إلى غاز أول أكسيد الكربون ، يحوى حرارة = ٢٤٣٠ كيلو كالورى

كل كجم كربون يتحول إلى ثاني أكسيد الكربون ، يحوى حرارة = ٨١٠٠ كيلو كالورى
كل كجم من الايدروجين يتحول إلى بخار ٣٣٩٢٠ كيلو كالورى يمكن احتساب القيمة المطلوبة .

٥ - حساب أقطار ودنات نفخ الهواء :

تتوقف قيمة قطر ودنة النفخ ، على كمية الهواء المطلوب للفرن كل دقيقة ، وعلى عدد الودنات ، وعلى ضغط الهواء اللافح عند الودنات .

ولقد حدد علماء التصميم ، أقصى قيمة لكمية الهواء المار خلال السنتيمتر المربع من قطر الدونة / دقيقة بمقدار ٠,٤٥ سم^٣ وعليه فبمعرفة القيمة الإجمالية للهواء / دقيقة ، وبالقسمة ، يمكن تحديد مساحة الودنات الكلية ومن معرفة عددها (حسب قطر الفرن ص) يمكن حساب مساحة كل منها ، وبالتالي قطرها .

٦ - حساب أقطار مواسير الهواء الساخن والبارد :

$$\frac{\text{طول الماسورة في سرعة الهواء بها}}{25000 \times \text{قيمة انخفاض الضغط بها}} = \text{الترح فورسي القانون التالى قطر الماسورة}$$

وقدر انخفاض الضغط المقصود كالاتي :

٩٣ جم للشحنات

٩٣ جم في مواسير الهواء البارد

٣١٠ جم في مواسير الهواء الساخن

بينما حدد سرعة الهواء البارد بحوالى ٣٠ متر / ثانية ، وسرعة الهواء الساخن بحوالى ٨٣ متر / ثانية (نتيجة زيادة الحجم بالتسخين) .

فإذا كان طول مواسير الهواء البارد ٤٨ مترا ، ومواسير الهواء الساخن ٣٨ مترا ، وبالتعويض في القانون ، ينتج أن قطر الأولى ٢٩ سم ، وقطر الثانية ٦٦ سم .

وعموما هنالك العديد من مؤثرات التشغيل التي يتم حسابها كروتين يومي بأقسام الأفران العالية ، منها على سبيل المثال وليس الحصر : درجة الحرارة النظرية والفعلية أمام الودنات ، قدرة الصهر للفرن إلخ . ، والتي لا يمكن حصرها في مجالنا هذا .

حساب التكاليف :

بعد تحديد المعدلات من الاستهلاك والإنتاج لكل طن من الحديد الزهر المنتج ، وبمعرفة أسعار الوحدات لهذه ، يمكن حساب تكاليف إنتاج طن الحديد الزهر من الخامات . تضاف إليه بعد ذلك توأبت بقية الاستهلاكات من القوى المحركة ، والمصاريف الإدارية ، لينتج بعد ذلك سعر تكلفة فعلى لإنتاج طن الزهر بالفرن . وهو من أهم المؤشرات ، بل هو خلاصتها .

وفىما يلى تصميم بسيط لنموذج لإتمام هذه التكاليف :

مسلسل	الخامة أو المنتج	معدل الاستهلاك أو الإنتاج كجم / طن	سعر الوحدة	تكلفة الطن
١	خامات أولية : خام الحديد نسبة الفواقد إضافات حديدية الكوك فاقد الكوك			
٢	قوى : قوى كهربائية			

مسلل	الخامة أو المنتج	معدل الاستهلاك أو الإنتاج كجم / طن	سعر الوحدة	تكلفة الطن
٣	مياه بخار غازات أفران أو كوك . . الخ صيانة :			
٤	صيانة كهربائية وقطع غيار صيانة ميكانيكية وقطع غيار مصاريف إدارية			
٥	مباشرة غير مباشرة مخازن واستهلاكات مهمات أخرى وخامات إضافية استهلاكات تأمينات . . . الخ وإجمالي تكلفة المصروفات			
٦	عائدات : ... غاز الفرن العالي ... خبث الحديد الناتج ... تماسيح الزهر الناتجة ... تراب الغازات إجمالي تكلفة العائد إجمالي تكلفة إنتاج الطن			

والحديث في هذا المجال مهما يطول ، فلن يوفى الموضوع حقه ، فاقتمادات التشغيل المبينة على حسابات الاستهلاكات لها مؤلفات عديدة ، ولا يزال الباحثون يجدون فيها الكثير من نقاط البحث . فعدرة لعدم الوصول إلى إرضاء رغبة القارىء ، وننصح بالاطلاع ، لتكتمل الصورة التي لا يمكن جمعها من مؤلف واحد ، خاصة إذا كان لهذا المؤلف هدف محدد .

الباب التاسع

الاتجاهات الحديثة في تشغيل الأفران العالية

يعكف العلماء والباحثون والمهتمون بتشغيل الأفران العالية واقتصادياتها على البحث عن أحسن الوسائل وأكثرها ملاءمة لعملياتها ، ومنذ أن استطاع العالم الألماني شنك ، تحديد ثابت التعادل لتفاعلات اختزال أكاسيد الحديد ، توالى الأبحاث ، تكشف يوما بعد الآخر ، عن التفاعلات الكيميائية والفيزيكية التي تتم بالأفران العالية ، وتوضع العلاقات التي تحكمها وتربطها بعضها ببعض وكان هدف هذه الأبحاث في مبدئها علميا فقط ولكن مع تطور الصناعة ، وانتقالها تدريجيا من مرحلة الفن الى مرحلة التطبيق لنتائج النظريات في مجال الانتاج ، بدأ فعلا تطوير تشغيل الأفران العالية ، وبدأ العلماء والباحثون والعاملون ، مرحلة من تعاون صادق في البحث والتطبيق ، وتحليل النتائج والتطوير ، الأمر الذي أدى إلى تغيرات عديدة في تصميم الأفران ومعداتها ، وفي طريقة تشغيلها ، ومع بلوغ مرحلة المعرفة الكاملة بطرق التشغيل وبالتالي رقابة الإنتاج ، بدأت مرحلة جديدة من مراحل البحث والتطبيق ، لأحداث النظريات العلمية في التشغيل ، سعيا وراء تحقيق الأهداف الاقتصادية ، وعمر القرن العشرين في سنواته الأخيرة باستحداث العديد من الاتجاهات الحديثة في فن تشغيل الأفران العالية ، شملت نواحي متعددة ومتباينة كان من أهمها :

(١) الحد من شحن الحجر الجيري بالأفران وأن تستبدل به شحنات من اللبىد أو الحام المتوازن .

(ب) تشغيل الأفران العالية بضغط عال بالقيمة .

(ج) إدخال مواد عديدة الى الأفران عن طريق الحقن ، لزيادة كفاءتها ، أو لتحسين اقتصادياتها ، مما أدى إلى استحداث حقن الأفران بالأكسجين أو المواد الهيدروكربونية سائلة كانت أم غازية أو صلبة ، سعيا وراء إحلال جزء من الكوك المستخدم بكاربون هذه المواد .

(د) إدخال نظام الميكنة والتحكم الالى في عمليات تشغيل الفرن أو معداته .

(هـ) معالجة العيوب التي اكتشفت بتصميم الفرن أو معداته . واستحداث العديد من المعدات وأجهزة المراقبة والقياس التي تسهم في تحسين الأداء وتحقيق مؤثرات التشغيل المستهدفة .

وفما يلي استعراض سريع مبسط لهذه الاتجاهات والنظريات التي بنيت عليها، والهدف منها ونتائج تطبيقها عمليا.

١ - الحد من شحن الحجر الجيري بالأفران :

يستخدم الجير بالأفران العالية، كمساعد صهر يتحدد بالشوائب غير المرغوب فيها مكونا مركبات كيميائية ثابتة، تحت ظروف التشغيل السائدة بها، وبذلك يمكن التخلص من نسبة عالية من كل من الكبريت ورماد الفحم وسيليكون الخام والكوك وجزء من المنجنيز، حيث يساعد الجير في الحصول على تكوين محدد الصفات والمواصفات للخبث الناتج وبالتالي للحديد الزهر المنتج، ولذا فالجير أساسى في شحنة الفرن العالى. و يشحن الحجر الجيري بالأفران العالية كمصدر للجير المطلوب، غير أن لذلك العديد من المؤثرات الضارة بسير العمليات والتي تتخلص كالاتى :

١ - تحتاج عملية تحليل الحجر الجيري حسب المعادلة التالية كاك أم ————— ك ١ + كا ١ إلى كمية كبيرة من الحرارة تمتص ولا شك من حرارة المحيط الذى يتم فيه التفاعل. لذا نجد أنه لا بد من زيادة نسبة الكوك المستخدمة لتعويض الطاقة الحرارية المفقودة بمعنى زيادة المستهلك من الكوك.

٢ - إن غاز ثانى أكسيد الكربون المتولد نتيجة تحليل الحجر الجيري، ينسبب في زيادة نسبة غاز ثانى أكسيد الكربون إلى أول أكسيد الكربون بغازات الأفران العالية الصاعدة خلال الشحنات، ونتيجة لذلك تنخفض قدرة الغازات الاختزالية.

٣ - لما كان الحجر الجيري المضاف يحتوى على نسبة من الجير لا تزيد بكثير عادة على ٥٠% من الكمية المشحونة فإن ذلك يسبب كفاءة شحنة الفرن بالتالى زيادة حجم الفرن المقابل لإنتاج طن من المعدن. (إضافة حجم حجر جيري يخفض الإنتاجية بمعدل ٠.٢ ر. الى ٠.٣ ر.)

٤ - نظرا للاختلاف بين خواص الحجر الجيري وخواص بقية مكونات شحنة الأفران العالية، فقد يحدث خلال مراحل هبوط الشحنة بالفرن، أن يتجمع الحجر الجيري بمنطقة ما بالفرن، بقدر أكبر منه في مناطق أخرى، وبالتالي يتكون نوعان من الخبث : أحدهما ذو قاعدة أعلى منها فى الآخري، الأمر الذى يؤثر فى سير العمليات الميتالورجية بمنطقة بدء تكوين الخبث بالفرن، تأثيرا غير مستحب.

٥ - فى وجود غاز ثانى أكسيد الكربون والحديد المختزل حديثا، وفى درجات الحرارة

٤٥٠ الى ٥٠٠° م يتم التفاعل على النحو التالى ٢ ك — ١ ك وفى وجود غاز ثانى أكسيد الكربون ودرجات الحرارة العالية ، يتم التفاعل فى الاتجاه العكسى الذى يستهلك كربون الكوك مسببا زيادة فى الإستهلاك ، خاصة وأن هذا التفاعل ماص للحرارة . ويتقدم فن التشغيل للأفران العالية ، ووضوح هذه الآثار غير المستحبة ، ولتفادى آثارها الضارة ، اتجه التفكير الى ضرورة إيجاد وسيلة أخرى لإمداد الفرن بالجير مباشرة ، ولما كان الجير الحى هشاً ولا يمكن شحنه مباشرة بالأفران العالية ، أصبح من الواضح أنه لاسبيل الى تحقيق ذلك ، الا عن طريق ربط الجير طبيعياً أو كيميائياً الى الخام المشحون ، فظهرت عمليات التكوين والتطويع والتليد التى انتشرت أخيراً ، وأن كانت تلك الطرق التى تحوى الجير كمركب كيميائى (وأهمها عمليات التليد) أكثرها انتشاراً لمزاياها المتعددة من حيث كمية وحجم ونوعية المنتج .

ولقد أثبتت عمليات التشغيل ، أن استخدام الليد ذى القاعدية المتعادلة بدلا من الخام بشحنات الأفران العالية ، قد زاد من إنتاجيتها بما يعادل ٢٠٪ وقلل من معدل الكوك المستخدم بنفس القدر تقريبا وكذا قلل من كميات أتربة الغازات ، بما يعادل ٤٠٪ من المعدل الأسمى .

(ب) تشغيل الأفران العالية بضغط عال بالقمة :

وكان ، وما زال ، وسيظل ، معدل استهلاك الكوك لإنتاج طن من الحديد الزهر ، أهم مؤثر من مؤثرات الأفران العالية ، حيث إذ أنه مؤثر فى تكلفة الإنتاج وتهدف غالبية التطورات العالية فى تجهيز وتشغيل الأفران العالية الى خفض هذا المعدل إلى أقل ما يمكن ، ولما كان هذا المعدل يتأثر بمدى استغلال غازات الأفران العالية الصاعدة بالفرن وبسرعة تفاعلات اختزال أكاسيد الحديد وبالمواصفات الطبيعية للخامات المشحونة ، وأخيراً بنسبة أتربة الغازات الهاربة من الفرن ، ولذا كان البحث عن وسيلة لخفض سرعة الغازات ، وخفض أثر الخواص الطبيعية للخامات ، وخفض كمية أتربة الغازات المفقودة ، وتحسين وزيادة تفاعلات الاختزال ، شيئاً هاماً وضرورياً ، ومن هنا بدأ التفكير فى تشغيل الفرن بضغط عال بالقمة ، مما يؤدي الى تحقيق هذه الأهداف .

ولقد بدأت أبحاث تشغيل الأفران بضغط عال فى الفترة قبل الحرب العالمية الثانية واستغرقت أكثر من ١٠ سنوات وتتلخص الفكرة نظرياً فى الآتى :

١ - بزيادة الضغط الذي تتعرض له الغازات داخل الفرن يتناقص حجمها بمقدار التغير في الضغط المطلق الذي تتعرض له بمعنى أن :

$$ح١ ص١ = ح٢ ص٢$$

ويلزم تناقص أحجام هذه الغازات انخفاض في سبرعتها ، وبالتالي زيادة في زمن تلامس شحنة الفرن وهذه الغازات ، وبالتالي تحسن في تجهيز الشحنة . (عند درجة حرارة ثابتة ودرجة لزوجة ثابتة للغازات)

٢ - أن مقدار الخفض في ضغط الغاز خلال احتراق شحنات الفرن ، يتناسب عكسيا والفرق بين الضغوط المطاوعة بأعلى الفرن وبمنطقة الودنات ، بمعنى : عند درجة حرارة ثابتة ودرجة لزوجة ثابتة للغازات .

$$ص١ ص١ = ص٢ ص٢$$

وحيث أن ضغط الغاز بأعلى الأفران الكبيرة حاليا وضغطه أمام الودنات ، يصل حتى ١,١ ، ٢,٣ جوى على التوالى .

$$٠٠ \text{ الضغط المتوسط بالفرن } = \frac{\quad}{\quad} = ١,٧ \text{ جوى}$$

فإذا زيد هذا الضغط الى ٢,٤ لأمكن حساب الفرق بين الضغط أمام « الودنات » وبأعلى الفرن حسب المعادلة :

$$\frac{٥ \text{ ص} ٢}{١,٧} = \frac{\quad}{٢,٣ - ١,١}$$

٠٠ = ٢ ص = ٠,٨٥ جوى وعليه يصبح الضغط أمام الودنات مساويا ٢ + ٠,٨٥ = ٢,٨٥ جوى . ويصبح متوسطه بالفرن مساويا ٢,٤٢ جوى .

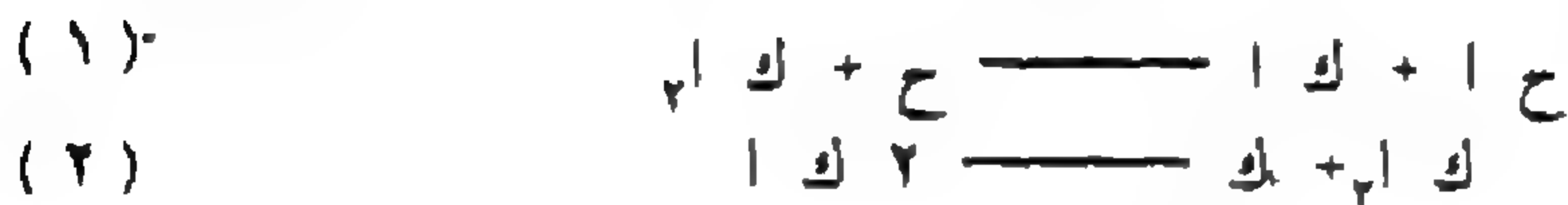
وعلى ذلك يلاحظ أن زيادة الضغط بقيمة الفرن من القيمة ١,١ الى ٢,٠٠ قد نجم عنه اختلاف بين ضغط القمة والودنات مساويا ٠,٨٥ جوى ، أى أقل من الحالة العادية ، حيث كان فارق الضغط مساويا ١,٢ وبالتالي يمكن زيادة الإنتاج إذا رغب في حفظ نفس الفرق في الضغط بين أعلى الفرن والودنات ، غير أن ما يتطلبه ذلك من زيادة تآكل أجهزة الشحن وقة الفرن قد حد الى حد بعيد من تحقيق هذا الهدف النظرى . ويستتبع هذا الخفض في فرق ضغط القمة عن الودنات بزيادة الضغط بالقمة ، تحسين

توزيع الغازات بالفرن إنخفاض ارتفاع قيع الشحنتات ، كذلك زيادة ضغط الغازات بالأماكن التي كان منخفضا فيها من قبل وبالتالي تحسين عمليات الاختزال بالفرن .

ولما كان هذا الفارق يمثل القوة الدافعة لعمود الشحنة بالفرن ، وبالتالي فإن زيادة على قدر معين ، يؤدي الى تعليق الشحنة بالفرن ، وخفضه يمنع هذا التعليق ، ويزيد من سرعة هبوطها على الجوانب ، وانخفاض هذه السرعة في منتصف الفرن . لذا يجب مراقبته تماما وتثبيت قيمته ما أمكن ذلك الشكل .

وكما يؤدي هذا التشغيل الى تحسين توزيع الشحنتات على سطح الفرن ، ويمنح العاملون بالأفران ، فرصة لزيادة كفاءة تشغيلها ، بزيادة كمية النفخ ، أو رفع درجة الحرارة للهواء اللائح ، أو زيادة نسبة الأوكسيجين به ... الخ .

٣ - إن الاختزال غير المباشر بالفرن ، يتم في حقيقته على خطوتين (ص ٩٦) :



وحيث أن التفاعل بالخطوة الأولى يتم بالانتشار ، الذي تعتمد سرعته على مقدار معامل الانتشار للغازات المختزلة الذي ينخفض بدورة بزيادة الضغط ، وبالتالي تنخفض سرعة التفاعل من ناحية ومن ناحية أخرى فحيث أن سرعة التفاعل تعتمد على الضغط الجزئي للغازات المختزلة ، والذي يزيد بزيادة الضغط ، وبالتالي تزداد سرعة التفاعل نجد أنه يؤثر في سرعة هذا التفاعل مؤثران يعملان في إتجاهين مختلفين ، وحتى يستطيع المؤثر الثاني التغلب على تأثير الأول ، زيادة الضغط الى ١٠ جوى ، الأمر الذي يصعب تحقيقه في عمليات الأفران العالية ومن ثم فعملية زيادة ضغط القمة بالأفران العالية ، لاتؤثر إطلاقا في زيادة سرعة الاختزال الغير المباشر وإن كان نتيجة لتحسين تجهيز الشحنة ، تتحسن عمليات الاختزال غير المباشر تبعاً لها .

أما الخطوة الثانية في التفاعل ، فيلاحظ أن زيادة الضغط (تبعاً لقانون لى شاتليه) يزيد من سرعة التفاعل في الاتجاه العكسي وبالتالي يخفض من الاختزال المباشر ومن فقد الكوك والحرارة .

وتتم عملية زيادة الضغط بأعلى القمة عن طريق تركيب خائق لمواسير الغاز النظيف ،
لعقب مجمعات الأتربة والحلزونات ، وقبل المبردات ومحطة التنقية ، وبالتحكم في حركة هذا
الخائق الذى قد يكون على هيئة لوح رأسى ، يعترض مرور الغازات وبمقدار ميله عن
الاتجاه الرأسى ، يسمح بمرور الغاز ، وقد يكون على هيئة قرص متحرك من مجموعة أقراص
مختلفة الأقطار ، تفتح تباعا ، للسماح بالكمية المحددة من الغازات بالمرور ، تصبح المنطقة من
هذا الخائق ، وحتى ودنات النفخ ، تحت تأثير الضغط المضاد .

ولقد شكل تنفيذ هذا التطوير العديد من مشاكل التصميم لمعدات الشحن ، ولمعدات قة
الفرن وخاصة في تصميم بوابات الانفجار والمحابس على مجمعات الأتربة والحلزونات وكذا
مر التعادل الجانبى الذى يوصل الغاز النقي المضغوط الى المكان المحصور بين الجرسين ،
ليزيد الضغط فيه ، حتى يتعدى الضغط المعرض له الجرس الكبير من داخل الفرن ، فيفتح
الجرس الكبير ، وتهبط الشحنة ، ويتم إغلاق الغاز المضغوط ، فيغلق الجرس تحت تأثير
ضغط الغازات الصاعدة من الفرن ، أما الجرس الصغير فيفتح عاديا ، ويدون مشاكل .

ويتبع تشغيل الفرن بضغط عال بالقمة ، زيادة كمية الغازات الصاعدة بجوار جدار
الفرن ، وبالتالي يلزم إجراء تجارب عديدة ، إلى أن يتم حتى الحصول على نظام الشحن
الذى يضمن توزيع الغازات الصاعدة على قطاع الفرن ، وحسن توزيع هبوط الشحنات
على مقطع الفرن ، وبالتالي سرعة هبوط الشحنات بجوار الجدار كما سبق ذكره ، ولقد
حقق إدخال هذا التطوير نتائج طيبة ، فزاد الإنتاج بالأفران الأمريكية بنسبة ٧,٥ - ١٥%
وفي الأفران الانجليزية بنسبة ١٢ % وفي الاتحاد السوفيتى بنسبة ٩%

ونظرا إلى النتائج الطيبة التى حققها هذا الاتجاه فإن غالبية الأفران فى البلدان المتقدمة
تعمل حاليا بضغط عال فى القمة .

(ج) إدخال مواد عديدة الى الأفران عن طريق الحقن :

تسعى التكنولوجيا الحديثة والتى يساعدها التقدم العلمى المطرد الى إفساح مجال التطبيق
العلمى بالعديد من النظريات العملية المتطورة ، بحثا وراء تحقيق أهداف اقتصادية ،
والوصول الى تشغيل يسهل التحكم والسيطرة عليه . وكنتيجة لذلك ، تعرضت الأفران
العالية - كغيرها من وحدات الإنتاج - للعديد من التجارب والأبحاث ، وكانت عملية حقن
الأفران العالية بالعديد من المواد وتقييم نتائج إضافتها ، من أهم هذه التجارب ، وأكثرها
عمقا وأثرا ، وأضيفت عن طريق الحقن الى الأفران المركبات الهيدروكاربونية كالغاز

الطبيعى ، والمازوت ، وأضيف الكوك والجير ، وأضيف الأوكسيجين . الخ وكل من هذه الإضافات كان تستهدف هدفا محددًا يحقق النتائج الاقتصادية أو العملية السابقة ذكرها . وفى ما يلى تتعرض لكل على حدة محاولين اللقاء على الآثار المترتبة على استخدامه .

(ج) ١ - حقن الأفران العالية بالأوكسيجين :

تتلخص عملية تشغيل الأفران العالية ، فى اختزال أكاسيد الحديد بغاز أول أكسيد الكربون الناتج عن الإحتراق غير الكامل لكربون الكوك المضاد بالشحنة ، بأوكسيجين الهواء الجوى ، بعد رفع درجة حرارة الأخير الى درجة حرارة ملائمة بمعنى أنه بتوفير الأوكسيجين يمكن زيادة كمية الكوك المحترقة فى زمن معين ، ولما كان تفاعل الاختزال يتوقف على القدرة الاختزالية للغازات الأفران العالية ، وبالتالي نسبة أكسيد الكربون بها ، فعليه يمكن زيادة الاختزال بزيادة نسبة غاز الأوكسيجين فى الهواء اللائح الداخلى للفرن . هذا بالإضافة الى أنه عندما يستخدم الأوكسيجين تقل نسبة النتروجين فى هذه الغازات . وتزايد بالتالى نسبة أول أكسيد الكربون بها ، ويتحسن الاختزال .

وحيث أن احتراق الكربون فى مستوى ودنات نفخ الهواء الاختزال يولد حرارة ترفع درجة حرارة ناتج الاحتراق والمنطقة المحيطة ، الى ما يسمى بدرجة حرارة بودقة الصهر النظرية ، ويمثل الفارق بين الحرارة المتولدة هذه والحرارة المخرجة لبودقة الصهر ، والتي يحتاجها الخبث المتكون ليكون فى حالة سيولة ، كاملة والتي تعتبر مقياسا لقدرة الصهر بالفرن ، فإنه باستعمال هواء لافع يحوى نسبة من الأوكسيجين أعلى من ٢١ ٪ وبالتالي خفض نسبة النتروجين به ، يترتب عليه الإقلال من الحرارة الكامنة بالغازات الصاعدة عند درجة الحرارة المخرجة لبودقة الصهر ، ويتزايد هذا الفارق ، وتحسن قدرة الفرن على الصهر ، كما أن إضافة الأوكسيجين تحسن من ظروف الاحتراق بالمنطقة أمام الودنات ، وبالتالي ترتفع درجة الحرارة فى منطقة الأكسدة .

ولما كانت كمية ناتج الاحتراق لكل وحدة من الكربون ، تصبح أقل منها فى الظروف العادية مما يتولد عنه خفض فى حجم الغازات ، وبالتالي خفض سرعتها ، وكذا خفض فارق ضغط الغازات بين القمة ومستوى الودنات ، وعليه يتحسن التبادل الحرارى بين الغازات الصاعدة والتسحنات الهابطة ، فيتحسن تجهيزها واختزالها ، مما يترتب عنه خفض درجة الحرارة للغاز عند القمة وغير كبير فى تحاليله -

وتسبب كل التغيرات السابقة مجتمعة ، في رفع إمكانية زيادة قدرة الفرن على الصهر ، أو إمكانية حقنها بالمركبات الهيدروكربونية ، وبالتالي تحقيق خفض في معدلات استهلاك الكوك .

هذا فيما يختص بأوجه الاستفادة من حقن الأوكسيجين بالفرن العالى ، ولكن يقابل ذلك من ناحية أخرى ، بعض المعوقات ، يمكن تلخيصها فيما يلي :

١ - يتسبب تركيز الحرارة في البوتقة وخفض منطقة الأكسدة ، في ميل شحنة الفرن الى التعليق .

٢ - خفض كمية الحرارة الداخلة الى الفرن ، لخفض كمية النتروجين .

٣ - تنخفض درجة حرارة الغازات في المستويات العليا من الأفران لانخفاض كمية الغازات المقابلة لوحدة الكربون المحترقة .

٤ - إرتفاع تكاليف الحصول على الأوكسيجين اللازم .

ولقد وجد أن إضافة الأوكسيجين وبالتالي رفع كمية الحرارة الفائضة ببوتقة الصهر ، يساعد كثيرا في عمليات الحصول على بعض سبائك الحديد الخاصة ، كالفيرومنجنيز ، والفيروسيليكون ، وحديد السابك ، والتي يتطلب انتاجها اختزال بعض المعادن صعبة الاختزال ، والتي لا يتم اختزالها عادة الا في درجات الحرارة العالية ، فثلا حققت زيادة الأوكسيجين بالهواء اللافح الى ٣٠,٥% زيادة انتاجية الفيرومنجنيز ، الى مايعادل ٩٠% من الإنتاج الأصلي وكذا زادت انتاجية الأفران لإنتاج الفيروسيليكون بنسبة ١٠% بزيادة الأوكسيجين الى ٢٦,٥% وتصل الزيادة حتى ٥٣% عند زيادة الأوكسيجين الى ٣٠% وينخفض معدل استهلاك الكوك عندئذ بما يعادل ١٦% .

أما في حالة انتاج حديد المسابك ، فلقد زادت انتاجية الفرن بمقدار ١٥% وانخفض معدل استهلاك الكوك بمقدار ٣٧% عند رفع كمية الأوكسيجين بالهواء اللافح الى ٢٥% .

ونظرا لزيادة التكاليف الناجمة عن ارتفاع تكلفة الحصول على الأوكسيجين مقارنة بالخفض المهدود من الكوك واتجهت التكنولوجيا الحديثة الى ربط استخدام الأوكسيجين باستخدام الغاز الطبيعي ، لتحقيق خفض في معدل استهلاك الكوك ، وتعادل في التكاليف .

(ج) ٢ - حقن الفرن بالمواد الهيدروكربونية :

يؤدى كربون الكوك المشحون بالأفران العالية وظائف ثلاث رئيسية هي :

١- توفير الطاقة الحرارية اللازمة نتيجة احتراقه بأوكسيجين الهواء اللافيح .

٢ - الحصول على غاز أول أكسيد الكربون اللازم لعمليات الاختزال .

٣ - كربة المعدن .

ونظرا لأن معدل استهلاك الكوك - وكما سبقت الإشارة - يلعب دورا رئيسيا في تكلفة الإنتاج الحديد الزهر بالأفران العالية ، ونظرا للتسابق المحموم الذي عم - ويعم - العالم في مجال إنتاج الكوك الميتالورجي مما سبب اطراد تناقص الفحم الجيد القابل للتكويك ، مما يهدد مستقبل الصناعات الثقيلة ، فلقد عكف العديد من الباحثين والعلماء على إيجاد حل للمشكلة قبل تفاقمها ، وكان أن ظهر تكتيك حقن الأفران بالمواد الهيدروكربونية كوسيلة لاستبدال جزئى لكربون الكوك ، والاستفادة من الغازات المتولدة عن تحللها ، أهمها الهيدروجين في عمليات الاختزال وبدأت عمليات حقن الغاز الطبيعى ، وغاز الكوك والمازوت ، تجتذب اهتمام الدول التى لم تمنعها الطبيعة مصادر لإنتاج الكوك الميتالورجي .

وتتم عمليات الحقن جميعها غالبا عن طريق ضغط المادة الهيدروكربونية خلال مواسير تدخل من فتحات جانبية بمواسير النفخ ، أو من فتحة نظارات الودنات ، إذ يساعد الهواء اللافيح الداخلى الى الفرن ، فى تذير هذه المواد ، وبالتالي احتراقها فى مستوى الودنات وتستعرضها فيما يلى محددىن الأثر الناتج عن استخدام كل نوع منها على حدة .

(ج) ١-٢ - حقن الفرن بالغاز الطبيعى .

يحتوى الغاز الطبيعى نسبة عالية من غاز الميثان (ك يد) والذي يتأكسد بأوكسيجين الهواء اللافيح أمام الودنات ، الى الماء وثانى أكسيد الكربون ، اللذين لايلبثان فى وجود الكوك المتوهج - أن يختزل مخلفين غاز الهيدروجين ، وأول أكسيد الكربون ، ولما كانت الحرارة المتولدة فى هذه الحال أقل بكثير من الحرارة التى تنجم عن احتراق كربون الكوك ، فإنه يتبع هذا التفاعل ، أن تنخفض درجة حرارة منطقة الاحتراق ، وكذا درجة حرارة بوتقة الصهر ، لأن كمية الغازات المتولدة نتيجة التفاعل لكل وحدة كربون محترقة ، تتضاعف تقريبا . (فى احتراق ١ كجم كربون كوك ، يتولد ٤ر٥م^٣ من الغاز وعند احتراق ١ كجم من كربون الغاز الطبيعى ، يتولد ١١م^٣ ٣٠)

ولما كانت زيادة الغازات هذه سوف تتبعها زيادة فى سرعتها داخل الفرن ، وكذلك تتبعها زيادة فى فارق الضغط بين القمة وبوتقة الصهر ، الأمر الذى يؤثر ولاشك فى مدى الاستفادة من الحرارة الكامنة بهذه الغازات فى تجهيز الشحنة الهابطة ، وكذا يؤثر على معدل

هبوط الشحنت ، وعلى مدى انتظام وتناسق هذا الهبوط ، تتضح ضرورة خفض معدل استهلاك الهواء اللافح ، عند حقن الغاز الطبيعي ، مع رفع درجة حرارته ، وذلك للحفاظ على درجة حرارة بوتقة الصهر وبالتالي على قدرة الفرن على الصهر .

ولقد وجد علميا ، أن درجة حرارة الهواء اللافح يجب أن ترتفع بما يعادل ٤ درجات لكل متر مكعب من الغاز الطبيعي لكل طن من المعدن ، وأن مقدار الهواء اللافح يعادل ٦٥ ر٣م غاز ويبلغ هذا المقدار عند استعمال حقن الأوكسيجين بواقع ١,٣ م٣م / ٣م من الغاز ، حوالي ٣,٨ م٣م غاز .

ويتم في نفس الوقت ، وتحت نفس الظروف من الحرارة العالية ووجود بخار الماء وغاز أول أكسيد الكربون ، تفاعل هام يسمى تفاعل (الماء والغاز) على النحو التالي :



مما ذكر آنفا ، يتضح أن الغازات الموجودة أمام الودنات عند حقن الغاز الطبيعي ، تحوى نسبة عالية من الهيدروجين وتنخفض تبعا لذلك نسبيا نسبة غاز أول أكسيد الكربون والنيتروجين في الغازات المتصاعدة ، ولما كانت للهيدروجين قدرة كبيرة على اختزال أكاسيد المعدن ، وأن ذلك يؤدي الى زيادة نسبة الاختزال غير المباشر بالفرن وتناقص الاختزال المباشر فإن التأثير على الميزان الحرارى للفرن ، سيكون ايجابيا ، وسيوفر زيادة في الحرارة في المستويات المنخفضة من الفرن ، وبالتالي خفضا في استهلاك الكوك ، وزيادة في كفاءة تشغيل الفرن ، والتي يؤثر عليها في نفس الوقت عاملان متضادان في التأثير ، أحدهما يزيد من هذه الكفاءة كنتيجة لانخفاض الكوك المستهلك والآخر يقلل من هذا الاثر نتيجة انخفاض قدرة الفرن على الصهر ولذا فإن إضافة الغاز الطبيعي بمعدل ٧٥٪ الى ١٣٥ م٣ / طن من المعدن يرفع من كفاءة الفرن بنسبة ٢٩٪ فقط وهذه النسبة ترفع بقدر كبير عند حقن الأوكسيجين والمازوت معا للأسباب المذكورة من قبل لتصل بنفس معدل حقن الغاز وبإضافة ٥٠ م٣ طن من الأوكسيجين إلى ٩٪ ويلازم ذلك خفض في الكوك المستخدم بما يعادل ١٦ - ١٧ ٪

ومن الحديث السابق ، يتضح أن حقن الغاز الطبيعي البارد في الكوك يؤدي الى استهلاك كميات كبيرة من الحرارة (٢٥٠٠ كالورى / م٣ من الميثان) نتيجة تحلله ورفع درجة حرارة ناتج التحلل الى درجة حرارة المنطقة ولهذا فلقد فكر الباحثون في تسخين الغاز قبل حقنه لدرجة لا تتعدى ٦٠٠ م°) حتى لا يتحلل الميثان الى كربون وهيدروجين ، ثم حقنه بعد ذلك ،

الأمر الذى مكن من زيادة الكمية المحقونة بما يعادل ٠,٥% من حجم الهواء اللافح المستخدم ، ولقد وجد أخيرا أنه من الأفضل رفع درجة حرارة الهواء اللافح ، بدلا من تسخين الغاز الطبيعى .

غاز الكوك :

تتولد عن عملية التقطير الإتلافي للفحم بمصانع الكوك كميات كبيرة من غازات الكوك .ومن تحاليلها ، نجد أنها تحوى نسبة عالية من الهيدروجين الحر والمتحد ، ولهذا ، ولنفس الأسباب المذكورة التى دعت الى استخدام الغاز الطبيعى بالأفران نشأ اتجاه حديث يرمى الى حقن هذه الغازات بالفرن العالى ، غير أنه لانخفاض نسبة الميثان فى غاز الكوك ، فإن هذا الغاز يحتاج الى حرارة أقل لتفتيته ولهذا فعند حقنه بالأفران ، فإنه يمكن استخدام هواء لافح بدرجة حرارة أقل ، ولا يتعدى رفع درجة حرارة الهواء اللافح لمقابلة احتياج حقن غاز الكوك أكثر من ١٥ الى ٢٠ ° لكل ١% من الغاز .

ولما كانت كمية الهيدروجين بغاز الكوك تبلغ تقريبا ربع الكمية الموجودة بالغاز الطبيعى ، فإن مدى استغلال الهيدروجين فى هذه الحالة ، أقل من سابقه .

ويعترض عملية حقن الأفران بغاز الكوك ، صعوبات خاصة بتخليص الغاز من بعض المركبات كالفثالين ، وذلك حتى لا يتسبب فى تكوين الخبث عند تهاية مواسير نفخ الغاز بالإضافة الى ضرورة رفع ضغطه قبل الاستعمال .

وعلى ذلك فقد قللت هذه المتاعب من الحماس الذى صاحب حقن غاز الكوك فى بداية تشغيله حتى إن الاتحاد السوفيتى لم يجرب هذا الاتجاه الا فى مصنع واحد ، هو مصنع كوزنيتسك ولقد أثبتت نتائج التجربة أن حقن كمية من الغاز تصل الى ٦٨ م^٣/طن من الحديد ، قد رفع إنتاجية الفرن بنسبة ٤,٢% ، وخفض معدل استهلاك الكوك بنسبة ٩,٦% وكانت قيمة الإحلال حوالى ٠,٦١ كجم كوك/م^٣ من الغاز .

حقن الأفران العالية بالمازوت :

منذ عام ١٩٥٧ بدأت بعض الدول المتقدمة فى حقن الأفران العالية بالمازوت ، وتحمست شركات البترول ، بإمكانات البحث الكبيرة المتاحة لها ، لتطبيق هذا الاتجاه الحديث وتعميمه . ونتيجة لذلك ، أمكن حقن المازوت فى أمريكا ، وانجلترا ، وفرنسا ، واليابان ، وألمانيا ، والاتحاد السوفيتى ، وكانت أولى تجارب الاتحاد السوفيتى بمصانع ماجنيتوجورسك عام ١٩٥٨ . الخ وقد لاقى هذا الاتجاه الحديث رواجا كبيرا فى البلدان التى لم يتوفر فيها

الغاز الطبيعي ، وفي جمهورية مصر العربية ، تم إدخال حقن المازوت بأفران شبركة الحديد والصلب في عام ١٩٦٦ .

وفي بدء تجارب الحقن ، كان المازوت يدخل في مواسير الهواء الساخن ، ومنها الى الفرن ، غير أن عدم الاطمئنان الى سلامة وتناسق التوزيع ، أدى الى التفكير في حقن المازوت عن طريق مواسير خاصة ورشاشات ، تساعد على عملية التذير وتكوين نهايتها عند مسافات معينة من نهاية الودنات حتى لا تتأثر مياه تبريد الودنات والمبردات ، بالحرارة الناجمة عن احتراق المازوت .

• ولقد اختلفت الكميات المحقونة باختلاف أماكن التشغيل ، وطاقة الأفران وكميات هواء النفخ ، ودرجة حرارة الهواء اللافح المستخدم ، وكانت معدلات الاحلال ومؤشرات الأداء متباينة ، نظرا لاختلاف ظروف التشغيل بكل مصنع ، كما هو موضح بالجدول التالي :

المؤشرات	مصانع الاتحاد السوفيتي				المصانع الأمريكية	مصنع حلوان ج. ٢٠٠٤
	ماجيناجورسلف	شيروبيوفيتش	زياروجيا	تشيكوف		
كمية المازوت كجم / طن من المعدن	٣٠ - ٢٠	٣٠	٥٦	٨٠	٣٤	٧٠ - ٦٠
زيادة درجة حرارة الهواء	-	٧٠	٢٩	١٠٧	٦٠	٤٠
نقص معدل استهلاك الكوك	٨,٧	٩,٧	%٩,٥	%١٦,٥		
زيادة الانتاج						
نسبة الاحلال كجم / كوك						
لكل كجم مازوت	٨ - ٠,٥	٢,٥	١,٤٦	%٥٧٨	٢,٢	١,٦ - ١,٣

ورغم ارتفاع نسبة الكبريت بالمازوت عامة ، إلا أن هذا الكبريت الذى يبلغ من ١٠ إلى ٢٠ مرة قدر كمية الكبريت التى تضاف عن طريق الكوك المشحون لا تتسبب فى رفع نسبته فى الحديد الزهر المنتج بالقدر الملحوظ ، مما يدل على أن الكبريت المضاف فى هذه المنطقة المرتفعة الحرارة ، يتأكسد الى غاز ثانى أكسيد الكبريت ، ويفادر مع الغازات الخارجة ، أو مع الخبث متحدا بمكوناته .

ولقد لوحظ من استخدام المازوت مع شحنات مختلفة للأفران ، أن نسبة الإحلال تتناسب ومدى تجهيز وكفاءة الشحنة المستخدمة تناسباً عكسياً كما أن هذه النسبة ترتفع مع معدلات الإستهلاك القابلة من المازوت .

حقن الأفران العالية بالمواد الصلبة :

لم تقتصر عملية حقن الأفران بإضافات للتأثير على اقتصاديات التشغيل بها وتطويرها على استخدام المواد السائلة أو الغازية كما ذكر آنفاً ، ولكن تعداها الى الحقن للمواد الصلبة ، بعد طحنها كمساحيق أو على هيئة وحل ، ونذكر كمثال مايلى :

١ - حقن الأفران بالوقود الصلب :

بالنظر الى ارتفاع أسعار الكوك الميتالورجى ، وإلى توافر بعض أنواع الفحم التى لاتصلح لعمليات التكويد ، ولما كان جزء من الكوك المستخدم بالأفران ، يستخدم بفرض توفير الطاقة الحرارية اللازمة فإن اتجاهها ظهر وتمت تجربته بهدف الى استبدال جزء من الكوك المستغل لتوليد الطاقة الحرارية ، وذلك بأحراق كربون هذه الفحمات التى يتم طحنها الى مساحيق تحقن من الودنات مباشرة ، الى منطقة الصهر ، ولما كان الكوك المشحون يصل الى هذه المنطقة من الفرن بدرجة حرارة عالية ، فإن حقن الوقود الصلب يتبعه رفع درجة حرارته الى هذه الدرجة ، الأمر الذى يؤدي الى خفض معدل الإحلال إذ أن جزءاً من الوقود المحقون سوف يستغل لهذا التسخين ، ولهذا نجد أن معدل الإحلال ٥٠% فى الاتحاد السوفيتى و ٤٠% فى المانيا الغربية ، ولأيزال هذا الأمر موضع أبحاث للتطوير ، ولم يطبق بصورة أكثر شمولاً ، نظراً لبعض المتاعب الخاصة بتصميم المعدات ، ويفكر بعضهم حالياً ، فى الجمع بين المازوت والكوك معاً عند الحقن .

حقن الأفران بالجير :

إن موضوع حقن مسحوق الجير بالأفران ، دعا اليه المشتغلون بالأفران ، لتلافى مايسببه

وجود الحجر الجيري في شحنة الأفران من زيادة استهلاك الكوك ومن التأثير على معدلات هبوط الشحنات وتناسقه ، وكذا على عملية تكوين الخبث المبدئي ، بالإضافة الى الرغبة في تحسين عملية التخلص من الكبريت العالي بالمعدن . إلا أن التكنولوجيا الحديثة ، التي تدعوا الى التوسع في استعمال اللييد المتوازن ، قللت من الاهتمام بهذا النوع من الحقن ، خاصة وأن التأثير على إزالة الكبريت لم يكن فعالا بالأفران التي تمت بها التجربة في الولايات المتحدة ، وعليه لاتلق العملية حاليا إهتماما كبيرا .

(د) ميكنة الأفران ومعدلاتها وعملياتها :

تميز العصر الحديث بالبحث الدائم الهادف لتحسين جودة الإنتاج في مختلف القطاعات الصناعية وتطوير الاقتصاديات للعمليات الإنتاجية وإبعادها ما أمكن عن العوامل التي تؤثر في منتجها ومن هذه المؤثرات ، تلك التي تنجم عن اختلاف الخبرات ، ومدى التجارب ، واتخاذ القرارات لدى العاملين ، وعليه بدئ في تحليل العمليات الإنتاجية ، وربطها بعضها بالآخر تبعا لنتائجها التي تترتب عنها مؤثرات معينة يمكن استخدامها كإشارة بدء لإتمام بعض التغيرات في عمليات التشغيل ، والتي تتم حينئذ أوتوماتيكيا .

وكانت لزاما ولا شك ، أن يأخذ المهتمون بتطوير عمليات الأفران العالية بالاتجاه الحديث فحددوا لإتمام ذلك اتجاهين هما :

١ - ميكنة خطوات التشغيل .

٢ - ميكنة معدات تشغيل الأفران العالية .

ونورد فيما يلي بعض الأمثلة لميكنة خطوات التشغيل :

التحكم في عمليات شحن الأفران العالية :

تستخدم في عمليات إمداد شحنات الفرن من الخامات المشونة في الصوامع ، عربات ميزان ، يتم بواسطتها تجميع مكونات الشحنة حسب وزن كل منها ، والمحدد من قبل ، وبالترتيب الذي يحدد وضعها بعدئذ بالفرن ، لتفرغ في عربات الشحن ، ويقوم عامل أو أكثر ، بتشغيل هذه العربات تحت ظروف ضارة بالصحة ، وبالتالي بنفسية العامل ، وربما يترتب على ذلك أخطاء في وزن المكونات المختلفة ، مما تنجم عنه أضرار جسيمة بالتشغيل ، واذ كانت لم تتم حتى الآن امكانية ميكنة هذه العربات ، فقد انتشر حاليا تطور جديد ، يهدف الى استخدام السيور الناقلة التي يسهل التحكم فيها أوتوماتيكيا ، وبما يضمن تلافى

مثل هذه الأخطاء إذ تتحرك هذه السيور فتجمع المكونات بالوزن المحدد لتنقله الى عربات شحن الفرن ، وتعمل هذه المعدات بكفاءة عالية في العديد من المصانع ، مثل مصنع كريفوى روج ، وكوزيتسك ومجنيتوجورسيك ، بالاتحاد السوفيتي ، وأفران الحديد بالمصانع الجديدة للحديد والصلب وقد استغنت بعض بلدان العالم عن استخدام عربات الشحن نهائيا ، بحيث أصبحت الأفران تشحن بالسيور مباشرة ، وكما هي الحال في مصنع موتوراند باليابان .

التحكم في عمليات بوتقة الصهر:

يمكن بالتغيير في كميات هواء النفخ بالودنات ، إحداث العديد من التغييرات بمنطقة الصهر ، ومما يستلزمها تحسين الأداء ، ولقد وجد أن عدم انتظام هبوط الشحنات ، أو عدم تناسق حجم المشحونات ، يؤدي الى عدم انتظام عملية الصهر ، وحتى يمكن تجنب ذلك ، يجب التحكم في توزيع الهواء اللافح على الودنات ، او بذلك يمكن أيضا توزيع أية إضافات من الغاز الطبيعي أو الأوكسيجين أو المازوت ، بما يناسب هذه الكمية لكل ودنة ، ويتم ذلك بتركيب فلنشة متحركة في الكوع الكبير ، ولكل ودنة لقياس كمية الهواء المستهلك بها ، كما يوجد بكل كوع ، صمام خائق للتحكم في الكمية المسموح بمرورها ، وتنتقل هذه القياسات إلى أجهزة التسجيل ، ثم الى العقول الإلكترونية ، فتصدر هذه إشارات كهربائية الى البلوف المختلفة التنسيق هذه بين الكميات المستهلكة بالودنات ، والكميات اللازمة للصهر ، فإذا زادت الكمية المسجلة المقابلة على المقدار المحدد ، كان ذلك إيذانا ببدء تكوين مناطق تقل بها الإضافات المحقونة ، والعكس ومن ثم تتدخل العقول الإلكترونية في إعادة التوزيع وهكذا .

التحكم في فارق الضغط بين القمة وبوتقة الصهر:

يتطلب نظام هبوط الشحنات داخل الفرن ، وجود فرق محدد لكل فرق بين ضغطي الغاز بالقمة ، وضغطه في بوتقة الصهر ، فإذا حدث وقلت المسامية للشحنات ، بحيث أصبحت تعترض مرور الغازات ، تعطى الإشارة الأوتوماتيكية لتخفيض كمية النفخ ، أو تخفيض درجة حرارة الهواء اللافح ، للتغلب على ذلك وكذلك فإنه انخفض الضغط عند بوتقة الصهر ، أعطيت الإشارة لرفع درجة حرارة هواء النفخ ، أو زيادة كميته أما إذا انخفض الضغط بالقمة أعطيت الإشارة لتعديل نظام الشحن ، أو توزيع الشحنات .

يمكنه عملية توزيع الشحن بأعلى الفرن :

وقد تمت ميكنتها بطريقتين :-

١ - قياس درجة حرارة غازات الأفران الصاعدة الى جوار جوانب الفرن ، من ثمانى نقط قياس موزعة على مقطع الفرن وفي أعلاه ، حيث ترسل هذه بعد ذلك هزات كهربائية الى موزع شحنات تتحكم في دورانه ، ثم في فتح الجرس الكبير . فتتبع الشحنات في المكان الذى ترتفع فيه درجة الحرارة أكثر من زميلاتها ، وهكذا بما يضمن دوما حسن توزيع الشحنة ، ومسار الغازات الصاعدة

٢ - قياس درجة حرارة الغازات الصاعدة على أبعاد مختلفة من منتصف الفرن ، وعلى قطر معين ، وبالتالي تخرج الاشارة لتغير من نظام الشحن ، بما يكفل حسن توزيع المشحونات على سطح قطاع الفرن .

التحكم في حالة الفرن الحرارية ، بالهيمنة على التوازن الحرارى بأجزائها المختلفة :

بتحليل غاز القمة ، ومعرفة نسبة غاز أول وثانى أكسيد الكربون ، ومتابعة التغيرات التى تحدث لها ، يمكن التحكم على مدى نشاط الاختزال المباشر أو غير المباشر وبالتالي التكهن بما ستصبح عليه حالة الفرن الحرارية بعد فترة من الزمن ، لأن الزيادة في نسبة غاز أول أكسيد الكربون ، والتى لا يقابلها نقص مماثل في نسبة غاز ثانى أكسيد الكربون ، تكون دليلا على تزايد الاختزال المباشر ، الذى يمتص طاقة حرارية ، ولذلك يجب زيادة معدل استهلاك الكوك بالفرن ، أو رفع درجة حرارة الهواء اللائح ، لمقابلة هذا الاحتياج ، قبل أن يتسبب ذلك في برودة منطقة الاختزال المباشرة أما إذا كان تغير نسبتي الغازين بنفس القدر « زيادة غاز أول أكسيد الكربون » = الخفض في غاز ثانى أكسيد الكربون (كان ذلك دليلا على تغير الاختزال غير المباشر ، وبالتالي ما يتبعه من تغير حرارى بالفرن .

وقد تم تركيب مثل هذه الأجهزة بمصانع هولندا (أكسيدون) ، واليابان (نيبون كاكان) ، وفي روسيا (دنيروزرچنسك) .

كل ما ذكر آنفا ، يعتبر أمثلة لميكنة خطوات التشغيل بالأفران العالية ، أما ميكنة الأفران العالية نفسها أو معداتها ، فلقد أمكن ، وبنفس الأسلوب ، الربط بين النتائج التى تسجلها أجهزة القياس والمراقبة بالفرن ، والتى تسجل حاليا باستخدام أجهزة الحاسبات

الإلكترونية ، التي تقوم بتحليلها ، وتقوم على الفور بالإبلاغ عن أى عدم انتظام أو اختلال فى أداء الوحدة ، ومن ثم تتولى إصدار تعليمات محددة ، فى صورة إشارات كهربائية ، إلى الأجهزة المساعدة ، محددة نوع التغييرات فى الشحنة ، أو كمية الهواء اللائح ، أو نظام الشحن . . . الخ .

وفى لى بعض هذه المعدات ، التى أمكن تشغيلها آليا ، وهى : موزع الشحنات الدائرى ، وبعض أجهزة الشحن ، وأجهزة التحكم فى كمية الرطوبة فى الهواء اللائح وفى درجة حرارة الغاز بالقمة ، ويلوف الهواء بالكوابر ، والتغير من وضع التسخين إلى وضع النفخ بالمسخنات .

ولا يزال العلماء يتطلعون إلى المزيد من الربط بين عمليات الأفران ، والأجهزة التى تقوم بأدائها ، فى محاولات لمساعدة العاملين فى اتخاذ القرارات فى الوقت المناسب ، كمحاولة التغلب على اختلاف تحليل الخامات المستخدمة وأحجامها ، والتى كانت كانت عمليات التجهيز متكاملة ، فلن يمكن القضاء عليها نهائيا .

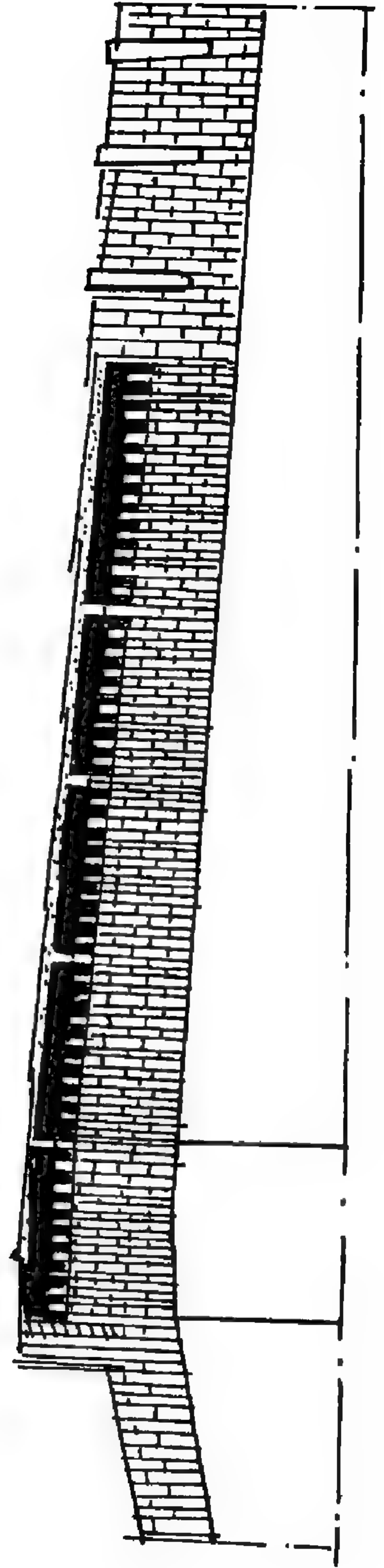
(٥) معالجة العيوب التى اكتشفت بتصميم الفرن أو معداته :

فى مجال الحديث عن تطور فن تشغيل الأفران الآلية ، ونظرا لضيق المجال والمكان ، فإنه لا يسعنا إلا أن نلخص فيما لى ، بعضا من التحسينات والتعديلات التى أضيفت إلى الأفران أو الوحدات المساعدة ، بحثا وراء الوصول بها إلى أعلى كفاءة أداء .

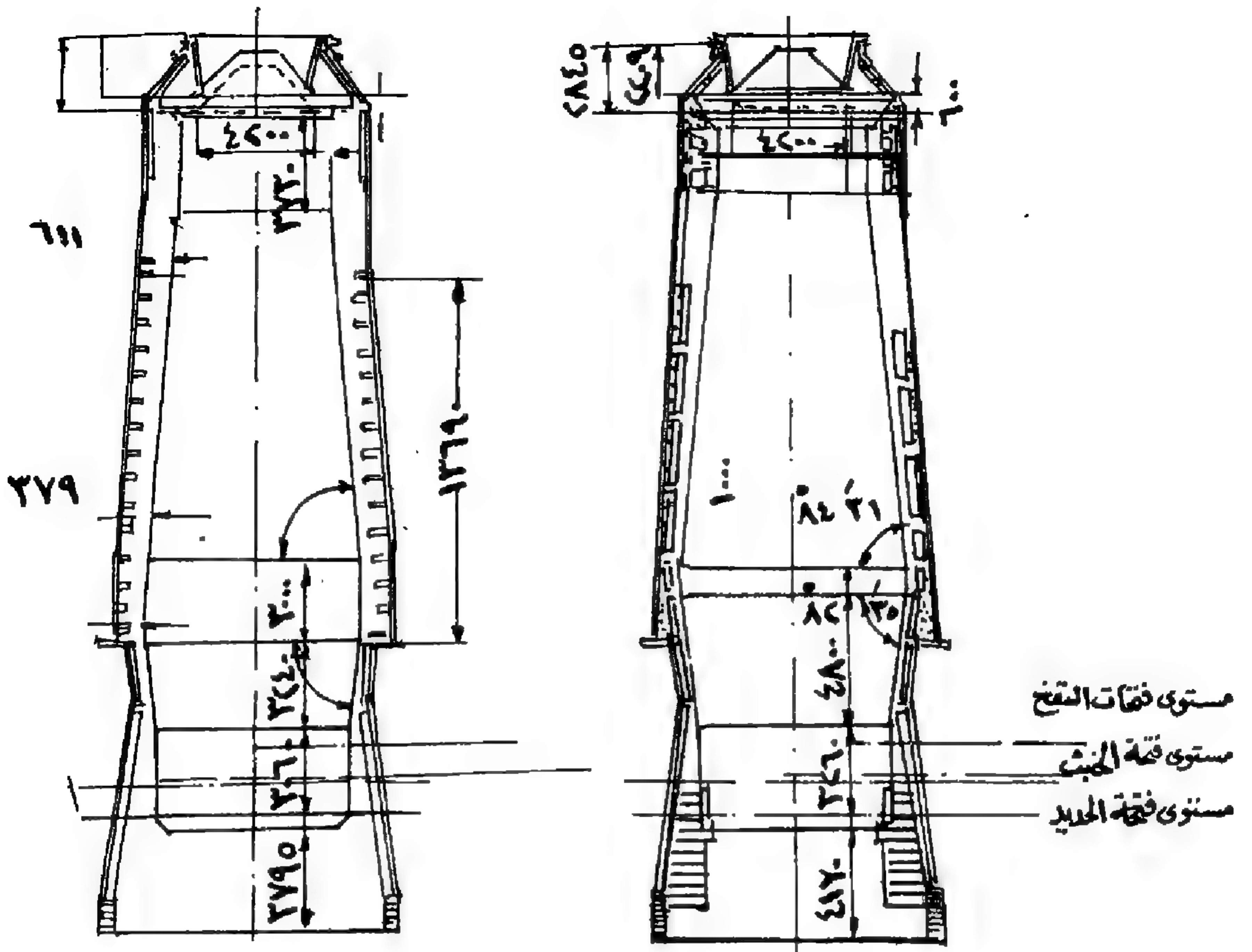
١ - تبريد الطوب المبطن للفرن :

نظرا لما يتطلبه الحفاظ على شكل « بروفيل » الفرن الداخلى ، وبالتالى ضرورة المحافظة على سلامة الطوب الحرارى المبطن بالفرن ، خاصة بمنطقة المخروط العلوى ، فقد أدخل نظام تبريده الشكل (٥١) .

وقد تعددت أشكال وتصميمات معدات التبريد المستخدمة ، ولكنها تتلخص فى استخدام مبردات أفقية أو رأسية ، نظرا لما لكل من النوعين من عيوب . فلقد أدخل حاليا نظام جديد يجمع بينها أنظر الشكل (٥٢) ، وبه أمكن تحقيق تشغيل منتظم للفرن ، وامتنع تعليق الشحنات ، وتحسين توزيع الغازات على مقطع الفرن ، وأمكن الحفاظ على البطانة نسبيا فقد وجد بحالة جيدة بعد ثمانى سنوات من التشغيل فى أحد أفران الاتحاد السوفيتى ، حيث تم تركيب هذا التصميم الحديث للمبردات بها ، الشكل (٥٢) .



شكل رقم (٥١) تبريد ميا في بطانة الفرن باستخدام
المبردات داخل الميا في وصناديق
التبريد المكشوفة



شكل (٥٢) تبريد بطانة الفون باستخدام المبردات المكثوفة
أو المبردات داخل المباني

٢ - تبريد مباني قاعدة الفرن :

يتآكل الطوب المبطن لبوتقة الصهر، نتيجة تأثير المعدن الملامس له، وقد يستفحل التآكل، ويتسبب في كثير من الأضرار، ويمتد فيؤثر على الطبقات التي تلي القاع، ليصل حتى القاعدة الخرسانية للفرن. ولقد أدخل نظام تبريد، باستخدام الهواء الجوى المضغوط والماء، بما يسمح لها بالمرور خلال مواسير خاصة، توضع في نهاية الطوب الكربوني المبطن لقاع بوتقة الصهر، بهدف تبريد المناطق التي تعلوها، وبالتالي الحد من سرعة تآكلها، والحفاظ عليها.

ولقد تم تطبيق ذلك في العديد من الأفران الحديثة بالاتحاد السوفيتي واليابان، وثبتت فاعليتها، إذ أصبحت حرارة الطوب في أحد الأفران بمصنع كوفتشتا روسك الروسى 34°C م على بعد ٠,٩ متر أعلى المواسير، بعد أن كانت 440°C درجة مئوية. ونتيجة لذلك، أمكن تخفيض سمك مباني قاع بوتقة الصهر.

٣ - تبريد بلوف الهواء الساخن والودنات بالتبخير لماء التبريد :

وتستخدم هذه الطريقة في التبريد، في المصانع التي بها عجز في مصادر المياه، أو التي تحوى مياهها أملاحا، أو تكون مياهها من النوع العسر بعد تنقيتها كيميائيا، إذ يستغل تحويل ماء التبريد إلى بخار، وما يتطلبه ذلك من كميات كبيرة من الحرارة، في تبريد جسم بلف الهواء الساخن (غير أن الطريقة لا تزال تحت التجربة)، ويؤدى ذلك إلى إنتاج كميات كبيرة من البخار اللازم لباقي وحدات المصانع، ولقد تمت تجربة استخدام هذه النظرية في تبريد الودنات بمصانع ماجنيتوجورسك الروسى - ولا تزال تحت التجربة أيضا - وأدى ذلك إلى تخفيض استهلاك المياه الصناعية بما يعادل ٧٠٪. التحكم في فارق الضغط بين القمة وبوتقة الصهر:

يتطلب نظام هبوط السحنات داخل الفرن، وجود فرق محدد لكل فرق بين ضغطي

٤ - استخدام مجارى الحديد المتحركة :

ويتم في هذه الحالة، وضع بواشق على خط سكك الحديد الداخلية المجاور لمباني صالة الصب. ثم توضع بوتقة أمام مصب المجرى الأولى لمجارى الحديد أو الخبث، على خط مجاور للخط الأول، ويصب المعدن بعدئذ لملأ بوتقة الحديد الأولى، وقرب امتلائها، يتحرك

مجرى مركبة على ذراع مثبت بقاعدة مباني الصالة ، ليصبح على استقامة المجرى الأصلي ، وتتلق المعدن الساقط من مجارى الصب ، لتحويله إلى البوتقة المقابلة الموجودة على الخط الاحتياطي ، ويبدأ في سحب بواق الحديد ، وضبط بودقة جديدة ، تحت مزارب الصب ، وعندئذ يغير وضع المجرى المتحرك ، فينسب المعدن في البودقة الثانية ليملاها ، وهكذا حتى نهاية الصب ، ولقد كانت هذه الطريقة ، سببا في تخفيض استهلاك كمية رمل المسابك والطينة الحرارية اللازمة لتبطين مجارى الحديد إلى ٢٥٪ من الأصل ، وكذا قللت من جهود العاملين في النظافة ، وإعادة التبطين .

٥ - استخدام ودنات نفخ إضافية :

في القرن الأول بمصنع زباروجيا ، حيث ينتج الفرن فيرومنجنيز ، ونظرا للحاجة إلى درجات حرارة عالية ببودقة الصهر ، فقد جهز الفرن بثلاث ودنات إضافية ينفخ من خلالها الهواء اللافيح الغني بالأوكسيجين ، وبالتالي يتحسن الأداء . وهذه طريقة يرى الكثيرون صلاحيتها ، إذا لزم الأمر ، لإنتاج فيرومنجنيز بالأفران الكبيرة ، وحتى لا تتكون رواسب ببودقة الصهر ، الشكل .

٦ - تطوير عملية نقل المعدن السائل :

ويتم حاليا استخدام بواق خاصة في نقل المعدن من الأفران إلى الصلب ، ويتطلب ذلك صيانات القاطرات ، وقضبان السكك الحديدية ، والبواق ، والأوناش ، الخ . من المعدات اللازمة . وبحثا عن الوفرة في الجهد في العمالة وفي التكاليف ، مع تحقيق الحفاظ على درجة حرارة المعدن من الأفران حتى الصلب ، تنتج بعض الدول حاليا - وخاصة الاتحاد السوفيتي - إلى إيجاد وسيلة أخرى للنقل بالأنابيب من الأفران إلى قسم الصلب . وتم تجربة هذا النظام في مصنع سيارات موسكوفتش ، حيث ينقل ناتج الكيوبلا إلى المسبك ، باستخدام مجال كهربائي مغناطيسي لتوجيه المعدن ، وحيث لا يتأثر الخبث المرافق له ، والذي يمكن فصله ، وعموما ، هنالك اتجاه عام للإقلال من عمليات النقل الداخلي بالمصانع .

وفي سبيل الإقلال من عمليات النقل بين الأفران والصلب ، وتحسين المحافظة على حرارة المعدن ، لجأت غالبية الدول ، إلى زيادة سعة البواق المستخدمة ، وتطوير أشكالها (الطوريد) ، والذي تصل سعة بعض وحداته إلى ٤٥٠ طنا حاليا ، ويستخدم مع الأفران الكبيرة .

٧ - استخدام الأفران العالية ذات الصب المستمر :

بالنظر إلى التحسين المستمر في تشغيل الأفران العالية ، وابتغاء الاقتصاد في النفقات والعمالة خاصة ، وسعياً وراء تحقيق إنتاج أكبر وأكبر من الصلب في جميع دول العالم ، فإن حجم الأفران العالية تزايد ، حتى أصبحت بعض الدول تمتلك أفراناً بأحجام تصل إلى ٤٥٠٠ م^٣ ، ونظراً لزيادة كفاءة استغلال الحجم الفعال للأفران ، نتيجة زيادة قدرتها على الصهر ، والتمكن من السيطرة تماماً على العمليات بها ، فإن هذه الأفران ستنتج يوماً ما يزيد على ٩٠٠٠ طن ، ولما كان ارتفاع بواقي الصهر ، والمسافة بين مستوى الودنات ومستوى فتحة الخبث وبين المستوى الأخيرة وفتحة الحديد ، مسافات محددة ، ولا يمكن تجاوزها في التصميم الأصلي ، دون الإضرار بعمليات الفرن ، أصبحت الأحجام التي يتجمع بها كل من الخبث أو المعدن ، أقل بكثير من المطلوب في حالة التشغيل العادي ، مما يستلزم دوام الاضطرار إلى فتح فتحة الحديد على فترات زمنية صغيرة ، الأمر الذي يؤثر في تماسكها ، ويؤدي إلى انهيارها . ولذا لجأ المصممون إلى تزويد الأفران الكبيرة بفتحتي خبث أو ثلاث ، يسحب الخبث منها على التوالي ، ولجأ بعضهم إلى تزويد الفرن بفتحتي حديد ، ما أن تنتهي الصبة بإحداها ، حتى يصب الفرن من الفتحة الأخرى ، بمعنى تزويد الفرن بصالتي صب (في العادة صالات مشتركة مع أفران مجاورة) . وبهذا يكون الصب بالأفران هذه ، قد تطور إلى الصب المستمر .

٨ - تجهيز شحنة الفرن :

يطول الحديث إذا ما تعرضنا تفصيلاً إلى الآثار المترتبة على إعداد ، وتجهيز ، وتجنيس ، واختبار شحنة الفرن ، غير أنه يمكن تلخيص ذلك ، في أن سبق حققته أية دولة من دول العالم المتقدمة في مجال زيادة الانتاج وخفض التكاليف ، كان مرجعه إلى الإعداد الصحيح والسليم لشحنة الفرن العالي . وفي هذا المضمار ، وسعياً وراء تحقيق هذا الهدف . ثم تطوير عمليات التجنيس وعمليات النخل والطحن . الخ . وفي اليابان ، يطحن خام الحديد ، ثم يقسم إلى ثلاثة أحجام كالآتي :

- الخام بحجم ٢٥ - ٤٠ سم ، يشحن بالفرن مباشرة
- الخام بحجم أقل من ٢٥ - يطحن ثانية ويستغل كالآتي :
- (أ) الخام بحجم ٣ مم - ١٠ مم للتكوير والتطويب
- (ب) الخام بحجم أقل من ٣ مم للتليد

ثم تشحن هذه الخامات بنسب محدودة في الفرن لتضمن مسامية معينة وتضمن تحاليل مناسبة للمعدن المنتج .

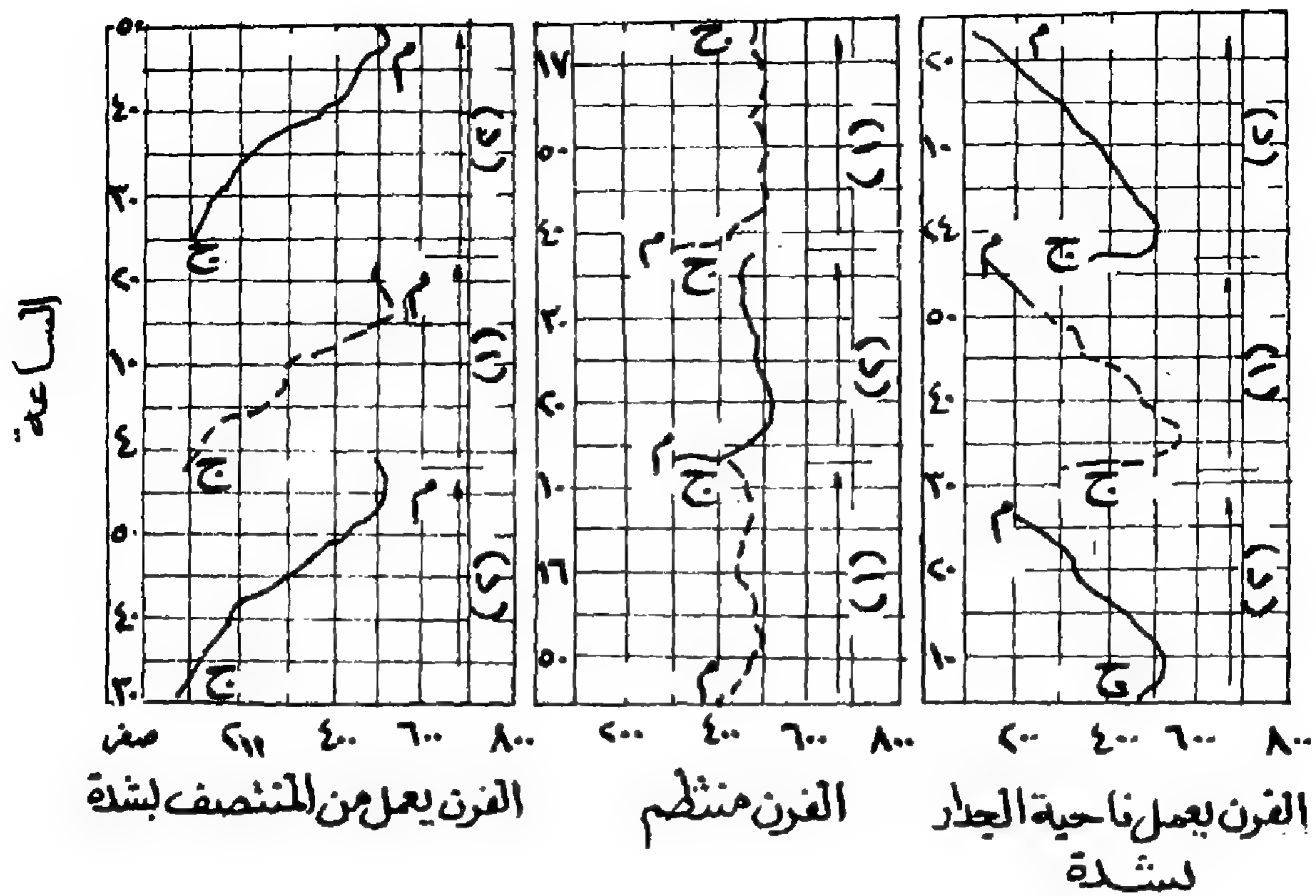
والأمثلة على مدى ما تبذله الدول في هذا المجال كثيرة ، فمنها من يهتم بعمليات النخل ، ومنع شحن أحجام أقل أو أكثر من حجم معين ، وبعضها يلجأ إلى شحن اللبيد في درجة حرارة مرتفعة نسبياً ، لتحسين اقتصاديات الكوك والتليد . . الخ .

٩ - زيادة إحكام مراقبة الأفران :

الأفران العالية ، من الوحدات الإنتاجية التي تكون دائرة تشغيل مغلقة ، بمعنى أنه لا يمكن مشاهدة ما يجري بداخل الفرن ، وفي المناطق المختلفة فيه ، ولهذا تجهز الأفران بالعديد من أجهزة القياس الدقيقة ، التي يختص كل منها بمهمة معينة ، تظهرها على لوحات التسجيل ، ليقوم العاملون بتحليلها ، والربط بينها ، بهدف معرفة مجريات العمليات المختلفة ، وفي سبيل ذلك ، تجهز الأفران بازدواجات حرارية في مستويات متعددة ، لقياس درجة حرارة الغازات ، وأخرى لقياس درجة حرارة المباني المبطنة للفرن أنظر الشكل (٥٣) كما تستعمل بنفس الهدف ، النظائر المشعة ، التي توضع على أبعاد مختلفة في مستوى واحد ، ثم تكرر في مستويات أخرى . وكما تستخدم النظائر المشعة لقياس عمق الشحنة . . الخ . هذا ، وفي سبيل زيادة المعرفة ، تزود الأفران بأجهزة خاصة ، تمكن من الحصول على عينات من الغازات الصاعدة في الفرن ، لتحللها ، حتى يتسنى معرفة ما يدور بداخل الفرن ، وهكذا نجد أن الاتجاه الحديث ، هو وضع أجهزة قياس في الأفران ، بحيث توضح نتائجها ما يخفى عن العين من عمليات .

تطبيق اتجاهات التشغيل الجديدة بأفران التوسعات بالحديد والصلب :

رغبة في مسايرة العصر الحديث ، وبناء الدولة الصناعية المتقدمة ، وإرساء قاعدة الصناعات الثقيلة والصناعات الهندسية المعتمدة عليها ، قامت جمهورية مصر العربية بتنفيذ مشروعات التوسعات بمصانع الحديد والصلب ، لزيادة طاقتها الإنتاجية إلى ١,٧٥ مليون طن من الصلب الأكسجيني والكهرباء . ويحتاج ذلك إلى مثل هذا الرقم من الحديد الزهر ، الذي سوف ينتج من الأفران الحالية ، بعد تطويرها ورفع كفاءتها ، بالإضافة إلى فرنين جديدين ، حجم كل منهما ١٠٣٢ م بإنتاجية قدرها ١٩١٥ طن / يوم / الفرن . ولا شك أنه لتحقيق هذا الإنتاج ، كان من المحتم أن يتمسك الجانب العربي بتجهيز الأفران الجديدة



ج : عند جدار الفرن

م : عند منتصف الفرن

درجات حرارة الغاز م

شكل رقم (٥٢) -

يبين درجة حرارة الغازات على أبعاد مختلفة عند مستوى الفياس وعلاقتها بتشغيل الفرن

- ومعداتنا ، بأحدث ما وصل اليه تطويرها ، والتي تكفل تطبيق الاتجاهات الحديثة في فن تشغيل الأفران ، ولقد قام الجانب السوقى (المورد) من ناحيته ، بتحقيق هذه الرغبات جميعها . و نستعرض فيما يلى وبإيجاز ، الاتجاهات الحديثة التى ستطبق فى الأفران العالية :
- ١ - الاهتمام بتجهيز شحنة الفرن ، واستخدام الليد المتوازن ، مع المحافظة على تذبذب تحليل هذا الليد فى أضيق الحدود (٠,٥ ٪) للحديد والسيليكا .
 - ٢ - قصر عدد الخامات الحديدية المستخدمة بالأفران العالية على واحد فقط ، بدلا من عددها البالغ فى الأفران الحالية سبعة خامات ، وبالتالي ضمان تناسق الشحنة .
 - ٣ - فصل نواعم الليد التى تقل عن ٨ مم قبل شحنها بالأفران مباشرة ، وبالتالي القضاء على تأثير النواعم السيء ، وضمان حسن مسامية شحنة الفرن . وتقدر الزيادة فى الإنتاج نتيجة غربلة الليد بحوالى ١٠ ٪ من الإنتاج العادى للفرن .
 - ٤ - استخدام الكوك المتجانس التحليل ، الذى يحوى أقل من ٠,٨ ٪ كبريت مع غربلته قبل الشحن مباشرة ، وفصل الأحجام التى تقل عن ٤٠ مم .
 - ٥ - استخدام درجات حرارة مرتفعة لهواء النفخ (١٠٠٠ ° م) ، وتسمح الإمكانيات برفعها إلى (١١٠٠ ° م) . ومن المعروف أن زيادة ١٠٠ ° م حرارة بالهواء اللافح ، تقابلها ٢ ٪ زيادة فى إنتاجية الفرن ، وانخفاض فى استهلاك الكوك بنفس النسبة تقريبا .
 - ٦ - استخدام الضغط العالى عند قمة الفرن .
 - ٧ - استخدام السيور الناقلة فى عمليات النقل بين الأفران والتليد ومنصع الكوك .
 - ٨ - تجهيز الأفران بالإمكانيات اللازمة لحقن هواء النفخ بفائض من الأوكسيجين ، بعد تغطية احتياجات محولات الصلب الأوكسيجينية ، وكذا تجهيزها بإمكانيات حقن المازوت والغازات الطبيعية .

valve	بلف
viscosity	لزوجة
volatile matter	مواد متطايرة
washer	غسال - منطف
washing tower	برج غسيل
waste gas	غازات عادمة
water separator	فاصل مياه
wet cleaning method	طرق تنقية مبللة
zince	خارصين
zone	منطقة
slag basicity	قاعدية الخبث
slag notch	جلبة الخبث
slag yard	حوش الخبث
slipping	انزلاق
smelting	صهر
solubility	قابلية الذوبان
sounding rods	المجات
specification	مواصفات
stack	المخروط العلوى
storage yard	حوش الخامات
tap hole	فتحة خروج الحديد
tar	قار
temperature	درجة حرارة
tensile strength	قوة الشد
top revolving device	جهاز توزيع الشحنة الدوراني
turbo-blower	توربينات نفخ الهواء
tuyere	ودنة
tuyere level	مستوى الودنات
useful volume	الحجم الفعال

pouring position	وضع الصب
preventive maintenance	الصيانة الوقائية
probability	احتمالات
purity	نقاء
radiation	إشعاع
rate of blowing	معدل النفخ
rate of driving	معدل التشغيل
rate of reaction	معدل التفاعل
reaction	تفاعل
reduction	اختزال
refractory bricks	طوب حرارى
residual	مخلفات
rotary furnaces	أفران دورانية
runners	مجارى
scaffold	رواسب
scale car	عربة ميزان
self fluxing sinter	ليبد متوازن
settler	مروقات مياه
silica	السيليكا
sinter	ليبد
methane	غاز الميثان
mill scale	قشور الدرفلة
mine	منجم
mixer	خلاط الحديد
moisture	رطوبة
nitrogen	نيتروجين
nozzle	نافهة

ore crusher	كسارة الخام
ore distributing car	عربات توزيع الخامات
outward butter	زاوية ميل المخروط السفلى
oxidation	أكسدة
oxygen enriched blast	هواء لافح غني بالأوكسجين
pan system	طريقة القواديس
pelletising	تكوير
phosphor	الفوسفور
pig iron	حديد خام
pilluting	سقوط قلب الشحنة
pneumatic hammer	مطرقة هوائية
porosity	مسامية
impurities	شوائب
iron and steel making	صناعة الحديد والصلب
irregularities	اضطراب
ladle	بودقة
lance	هلب
large bell	الجرس الكبير
lay-out	تخطيط المصنع
leaking of tuyeres	رنح الودنات
lifting device	جهاز رفع
limestone	الحجر الجيري
limonite	ليمونيت
lining	بطانة
low carbon steel	صلب منخفض الكربون
lowshaft furnace	الأفران القصيرة
magnetic concentration	التركيز المغناطيسي
magnesite bricks	طوب ماجنزيت

magnetite	ماجنتيت
manganese ore	خام المنجنيز
man-hole	فتحة تفتيش
manometer	مانومتر
gas offtake pipes	مواسير تجميع الغازات
granulation of slag	تجبيب الخبث
graphite	جرافيت
grate bars	ياطات حصيرة التليد
grinding	طحن
hanging of B. F.	تعليق شحنة الفرن العالي
hearth	بودقة الصهر
heating gases	غازات التسخين
hematite iron	حديد هيماتيتي
hematite ore	خام هيماتيتي
hot blast	الهواء اللافح
hot blast stoves	مسخنات الهواء
hot metal ladles	بواق المعدن الساخن
hot spots	البقع الحمراء
humidity	رطوبة
hydraulic system	النظام الهيدروليكي
ignition	إشعال
indicator	مؤشر
indirect reduction	اختزال غير قياسي
injection	حقن
insolation	عزل
exothermic reaction	تفاعل طارد للحرارة
extractive metallurgy	علم استخراج المعادن
fayalite	الفياليت
ferric oxide	أكسيد حديدك

ferro-manganese	فيرو منجنيز
ferro-silicon	فيرو سيليكون
ferrous oxide	أكسيد حديدوز
fine bricks	كسر الطوب
fine ore	الخام الناعم
fixed carbon	الكربون الثبات
flux	مساعد صهر
friction	احتكاك
fuel	وقود
fumes	أدخنة
fusibility	قابلية الانصهار
fusion zone	منطقة الانصهار
gangue	شوائب
gas checker	غرفة احتراق الغاز بالمسغرات
gas cleaning plant	وحدة تنظيف الغاز
gas holder	خزان الغازات
descending charge	الشحنة الهابطة
desintegrator	توربينة تنقية ودفع الغاز
desulphurization	إزالة الكبريت
diffusion	انتشار
direct reduction	اختزال مباشر
discharge roller	دلافين التخرج
distillation	تقطير
distributor	موزع
distribution car	عربة توزيع
dolomite	الدولوميت
dome	قبة
down commons	ماسورة التجميع الهابطة - المنطوى
dry flue gas	غاز جاف
dry methods	طرق جافة
dust catcher	مجمع الأتربة

earth coal	فحم ترابي
eddy flow	تدفق
electrostatic preparation	ترسيب كهربائي
electrostatic purification	تنقية كهربائية
emergency stoppage	توقف اضطراري
endothermic reaction	تفاعل ماص للحرارة
errection crane	ونش تركيب
exhaust gases	غازات العادم
blind-flanche	سدة فلنشة
blowing out	إيقاف الفرن
blowing period	فترة النفخ
butterfly valve	عينا اختناق
calcination	كلسنة
carbon	كربون
carbonate	الكربونات
carbon monoxide	أول أكسيد الكربون
catalyst	مساعد تفاعل
charcoal	فحم نباتي
charge	شحنة
chargingn basket	سلة الشحن
charging skip	عربة شحن الفرن
charging system	مجموعة شحن الفرن
coke consumption	معدل استهلاك الكوك
coking	تكويك
combustion chamber	غرفة احتراق
coontrolling room	غرفة مراقبة
cooling bed	فرشة تبريد
cooling tower	برج تبريد
cooling water system	دورة مياه تبريد

المصطلحات الفنية

عربي	إنجليزي
درجة الحرارة الحرجة لبودقة الصهر	critical hearth temperature
قوة السحق	curshing strength
حلزون - فاصل أترية حلزوني	cyclone
درجة الصفر المطلق	absolute zero temperature
تسحنة حامضية	acidic burden
إضافات	additions
قابلية - تآلف كيميائي	affinity
مساعد	agent
تجميع الخامات الناعمة	agglomeration
بخار قلويات	alkalies vapour
أكسيد الألومنيوم	alumina
خدمات مساعدة	auxiliary services
كربون متوافر	available carbon
توازن	balance
طريقة الحصرية	band system
صلب قاعدة	basic steel
فرشة	bedding
زاوية ميل الجرس	bell angle
الأسطوانة	belly
الجرس الكبير	big bell
صومعة	bin
أترية غازات الفرن العالي	B. F. dust
بلف تهوية	bleeder valve
تسحنة عمياء (كوك فقط)	blende
تجنيس	blending

فهرس الكتاب

صفحة

المقدمة	٣
الباب الأول : الخدمات المستخدمة بالفرن العالى	٥
الباب الثانى : وصف الفرن العالى وأهم علاقات تصميم أجزائه	٤٦
الباب الثالث : الحراريات المستخدمة فى بناء بطانة الفرن العالى	٨١
الباب الرابع : الوحدات المساعدة للفرن العالى	٩٠
الباب الخامس : أجهزة القياس والتحكم المستخدمة بالفرن العالى	١١٧
الباب السادس : التفاعلات الكيميائية بالفرن العالى	١٢٩
الباب السابع : تشغيل الفرن العالى - ومتاعب التشغيل	١٦٧
الباب الثامن : حسابات بعض مؤشرات تشغيل الفرن العالى	٢١١
الباب التاسع : الاتجاهات الحديثة فى تشغيل الفرن العالى	٢٣٧
المصطلحات الفنية (إنجليزى - عربى)	٢٦٩

رقم الايداع ١٩٧٧/٢٣.٧

الترقيم الدولي ٧.٦٥-١٥-٩ ISBN

